



SKRIPSI - ME141501

ANALISIS RISIKO TUBRUKAN SELAMA PROSES *SHIP TO SHIP* TRANSFER BAHAN BAKAR

I Gde Manik Sukanegara Adhita
NRP 4213 100 021

Dosen Pembimbing

A.A.B. Dinariyana D.P. S.T., MES., Ph.D
Dr. Yeyes Mulyadi. S.T., M.Sc

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



SKRIPSI - ME 141501

ANALISIS RISIKO TUBRUKAN SELAMA PROSES *SHIP TO SHIP TRANSFER* BAHAN BAKAR

I Gde Manik Sukanegara Adhita
NRP 4213 100 021

Dosen Pembimbing
A.A.B Dinariyana D.P., S.T., MES., Ph.D.
Dr. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan.



FINAL PROJECT - ME 141501

ANALISIS RISIKO TUBRUKAN SELAMA PROSES *SHIP TO SHIP TRANSFER* BAHAN BAKAR

I Gde Manik Sukanegara Adhita
NRP 4213 100 021

Supervisors
A.A.B Dinariyana D.P., S.T., MES., Ph.D.
Dr. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS RISIKO TUBRUKAN SELAMA PROSES SHIP TO SHIP TRANSFER BAHAN BAKAR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Reliability, Availability, Management
and Safety* (RAMS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

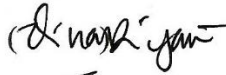
Oleh:

I Gde Manik Sukanegara Adhita

NRP 4213 100 021

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

A.A.B. Dinariyana D.P., S.T., MES, Ph.D



Dr. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.



SURABAYA

Juli, 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS RISIKO TUBRUKAN SELAMA PROSES SHIP TO SHIP TRANSFER BAHAN BAKAR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

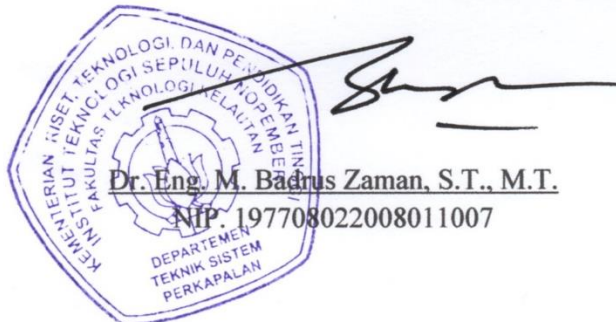
Bidang Studi *Reliability, Availability, Management
and Safety* (RAMS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

I Gde Manik Sukanegara Adhita
NRP 4213 100 021

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Halaman ini sengaja dikosongkan.

ABSTRAK

Nama Mahasiswa : I Gde Manik Sukanegara Adhita
NRP : 42 13 100 021
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : A.A.B. Dinariyana D.P., ST. MES. Ph.D.
Dr. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Di masa yang akan datang, penggunaan energi khususnya bahan bakar gas akan menjadi hal yang populer terutama dibidang transportasi laut. Kebutuhan akan udara bersih dan dan kondisi lingkungan yang lebih baik mendorong manusia untuk menciptakan peralatan baru yang lebih ramah lingkungan. Salah satunya adalah motor diesel dengan bahan bakar LNG. Jika kapal – kapal yang masuk ke wilayah Tanjung Perak beralih menggunakan motor penggerak berbahan bakar LNG, maka harus disediakan sistem untuk melayani pengisian bahan bakar LNG tersebut. Tugas akhir yang dikerjakan oleh Agastana (2016) mengkaji tentang fasilitas *bunkering* ini menggunakan sistem *ship to ship transfer* dengan membuat konseptual desain dari *shuttle vessel* pengangkut bahan bakar LNG tersebut. *Ship to ship transfer* direncanakan dilaksanakan di wilayah perairan Tanjung Perak Surabaya. Mengingat padatnya lokasi *bunkering* maka diperlukan kajian untuk mengetahui risiko dari tubrukan yang dapat terjadi jika *ship to ship transfer* dilakukan. Tubrukan yang dianggap berisiko dapat terjadi adalah *drifting collision* selama *ship to ship transfer* berlangsung dan *crossing collision* saat *shuttle vessel* selesai melakukan *ship to ship transfer* kemudian kembali ke alur. Prediksi frekuensi *drifting collision* dengan metode SAMSON untuk posisi sejajar antara objek dan *danger part* dengan variasi jarak 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, dan 500 m berturut – turut untuk kapal dengan panjang 87 meter adalah 0,0015; 0,0015; 0,0015; 0,0015 dan 0,0014. Serta dengan panjang kapal yang sama, posisi objek berpotongan dengan *danger part* untuk variasi yang sama frekuensi *drifting collision* berturut – turut adalah 0,0015; 0,0015; 0,0015; 0,0015 dan 0,0014. Prediksi frekuensi *crossing collision* dengan metode IWRAP diperoleh hasil berturut – turut untuk sudut 30^0 , 45^0 dan 60^0 adalah 0,00393; 0,00391 dan 0,00397. Hasil perhitungan frekuensi tubrukan terhadap *shuttle vessel* dengan *software* IWRAP untuk sudut 45^0 adalah 0,0027. Hasil ini menunjukkan bahwa *drifting collision* dan *crossing collision* tidak berisiko terjadi selama proses *ship to ship transfer* berlangsung.

Kata kunci: *Ship to ship transfer, Frekuensi Tubrukan Kapal, IWRAP Theory, SAMSON Model*

Halaman ini sengaja dikosongkan.

ABSTRACT

Name : I Gde Manik Sukanegara Adhita
NRP : 42 13 100 021
Department : Marine Engineering
Supervisors : A.A.B. Dinariyana D.P., S.T. MES. Ph.D.
Dr. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

In the future, energy use, especially natural gas fuel, will become a popular matter particularly in sea transportation field. The requirement of clean air and better condition of environment encourages human to create such a newer and more eco-friendly equipment. One of them is LNG fueled diesel engine. If the ships entering Tanjung Perak area will use this LNG fueled diesel engine, hence there should be a system that can serve the LNG fueled ship refilling. The final project conducted by Agastana (2016) reviewed this bunkering facility by using ship-to-ship transfer by creating conceptual design of shuttle vessel carrying the LNG fuel. Ship-to-ship transfer was planned to be conducted in Tanjung Perak, Surabaya. Considering how dense the bunkering location is, then a review is required to find out the risk of collision that can be occurred during the ship-to-ship transfer process. Risky considered collision that can be occurred is drifting collision during the ship-to-ship transfer process and crossing collision when the shuttle vessel finishes the ship-to-ship transfer process and returns to the line. The frequency of drifting collision is predicted by using SAMSON method for parallel position between the object and danger part with each distance variation of 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, and 500 m for vessel with length of 87 m is 0,0015; 0,0015; 0,0015; 0,0015 dan 0,0014. Also with the same length of vessel, each intersection between object and danger part at the same variation is 0,0015; 0,0015; 0,0015; 0,0015 dan 0,0014. The frequency prediction of crossing collision obtained with IWRAP method for each angle of 30° , 45° , and 60° is 0,00393; 0,00391 and 0,00397. the calculation result for collision frequency to the shuttle vessel by using IWRAP software for angle of 45° is 0.0027. These results show that drifting collision and crossing collision is not risky during the ship-to-ship transfer process.

Key words: *Ship to ship transfer, Collision Frecuency, IWRAP Theory, SAMSON Model*

Halaman ini sengaja dikosongkan.

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena anugerah-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Analisis Risiko Tubrukan Selama Proses *Ship to ship transfer* Bahan Bakar” ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik oleh penulis juga atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, ayah penulis Alm. Alit Dwitasuta dan Ibu Ni Made Sukarmi serta kakak dan adik – adik penulis I Gde Manik Wahyu Adhita, Luh Triastiti Manik Adhita dan Luh Ary Putri Manik, yang selalu mendukung penulis, memberi semangat terbesar, mendoakan kesehatan penulis hingga Tugas Akhir ini dapat penulis selesaikan dengan sebaik – baiknya.
2. Bapak A.A.B. Dinariyana D.P., S.T., MES., Ph.D. selaku dosen pembimbing sekaligus Kepala Laboratorium RAMS, yang telah memberi arahan, bimbingan serta dukungan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir ini di Lab RAMS.
3. Bapak Dr. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan masukan, arahan pola berpikir dalam menyelesaikan persoalan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana ST. M.Sc. selaku dosen bidang RAMS yang telah memberi banyak perhatian dan masukan selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. Dwi Priyanta MSE, Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc, Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT., Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST., M.Sc, Ph.D., Bapak Dr. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.
6. Bapak Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi dan dukungan untuk penulis.
7. Teman kontrakan penulis, Andwi Nuzul, Faisal Ridho, Edo Legowo, Yugo Adi, Ardi Nusawan yang menemani penulis dalam 3 tahun terakhir di Surabaya.
8. Teman Penulis di Lab Rams Stalline Pangestu, Putu Winda, Hilda Gloria, Thariq, Ago, Ben, Antony, Apri, Arif, Bram, Yusuf, Dante, Danu, Diga, Dioco, Dede, Fajar, Filik, Gishel, Grizaldo, Haris, Hildi, Jerico, Kevin, Miranto, Mizan, Ilham, Agus, Tri, Nyimas, Randy, Hafizh, Sofi, Mas Zein.

9. Teman Penulis di KESMA HIMASISKAL Mas Cakra, Mas Hanif, Hanif, Yudha Agus, Riko, Munib, Abyan, Revian, Dannel
10. Semua teman-teman Barakuda 13 atas kerjasama dan dukungan selama ini. Sukses buat kita semua.
11. Sahabat Penulis Paramitha Sari, yang selalu ada dan menemani penulis juga menyusahkan penulis.
12. Mbak dan Mas lab RAMS, Mbak Ucik, Mbak Emmy, Mbak Putri, Mbak Fadilla, dan Mas Dwi. Yang selalu membantu dan menjadi tempat berdiskusi penulis apabila mengalami kesulitan.
13. Dan semua pihak yang terlibat dan berkontribusi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat membutuhkan saran untuk dapat menyempurnakan tugas akhir ini dengan baik dan dapat bermanfaat bagi pembaca.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Skripsi	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Ship to ship transfer.....	5
2.2 LNG Bunkering Shuttle vessel.....	5
2.3 Prediksi Tubrukan dengan Metode IWRAP.....	6
2.4 Crossing collision	6
2.5 Samson Model (Contact Drift Model)	10
2.6 Konsekuensi Tubrukan.....	13
BAB III METODOLOGI	17
3.1 Perumusan Masalah.....	17
3.2 Studi Literatur	18
3.3 Pengumpulan Data	18
3.4 Skenario Tubrukan Selama Proses Ship to Ship Transfer.....	18
3.5 Analisis Frekuensi	19
3.5.1 Crossing collision dengan IWRAP Theory	19

3.5.2 IWRAP Software	20
3.6 SAMSON Crash Model	26
3.6 Analisis Konsekuensi	28
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Gambaran Umum	31
4.2 Data	31
4.3 Perhitungan Frekuensi Crossing collision.....	33
4.2 Perhitungan Frekuensi dengan Software IWRAP	35
4.3 Drifting collision	40
4.3.1 Drifting collision dengan posisi sejajar.....	41
4.3.2 Drifting collision dengan posisi berpotongan	44
4.3.3 Rekomendasi Kapal Memasuki Area Lego Jangkar Selama Transfer Berlangsung	47
4.4 Konsekuensi Tubrukan	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran.....	54
REFERENSI	55
LAMPIRAN	57

DAFTAR TABEL

Table 2.1. <i>Causation factors</i> yang ditentukan dengan <i>bayesian network</i>	10
Table 2.2. <i>Causation factors</i> yang ditentukan oleh hasil observasi fujii dan mizuki.....	10
Table 4.1. Hasil perhitungan frekuensi tubrukan <i>crossing collision</i>	35
Table 4.2. Nilai V_{drift} pada setiap kapal <i>sample</i>	42
Table 4.3. Nilai $t(x)$ untuk masing – masing <i>sample</i> pada setiap variasi $r(x)$	42
Table 4.4. Nilai $P_{\text{EF}} (t > t_s)$ untuk masing – masing <i>sample</i> pada setiap variasi $r(x)$	43
Table 4.5. Nilai N_{drift} untuk setiap $r(x)$ pada setiap <i>sample</i>	44
Table 4.6. Nilai $r(x)$ untuk masing masing variasi sudut drifting.	45
Table 4.7. $t(x)$ untuk $r_2 = 100$ m.	45
Table 4.8. $t(x)$ untuk $r_2 = 200$ m.	45
Table 4.9. $t(x)$ untuk $r_2 = 300$ m.	45
Table 4.10. $t(x)$ untuk $r_2 = 400$ m.	46
Table 4.11. $t(x)$ untuk $r_2 = 500$ m.	46
Table 4.12. $P_{\text{EF}} (t > t_s)$ untuk $r_2 = 400$ m.....	46
Table 4.13. $P_{\text{EF}} (t > t_s)$ untuk $r_2 = 500$ m.....	46
Table 4.14. N_{drift} untuk $r(x)$ terpendek dari setiap variasi.....	47
Table 4.15. Nilai E_{ξ} untuk <i>crossing collision</i>	49
Table 4.16. Nilai E_{ξ} untuk <i>drifting collision</i> posisi sejajar dan bersilangan.....	49
Table 4.17. Kategori energi yang diterima <i>shuttle vessel</i> pada <i>crossing collision</i>	50
Table 4.18. Energi yang diterima <i>shuttle vessel</i> pada <i>drifting collision</i>	50
Table 4.19. Nilai wl untuk <i>crossing collision</i>	50
Table 4.20. Nilai wl untuk <i>drifting collision</i> posisi sejajar dan bersilangan	51

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Skenario LNG <i>bunkering shuttle vessels</i>	1
Gambar 1.2. Lokasi <i>ship to ship transfer</i> yang direncanakan disekitar pelabuhan tanjung perak	2
Gambar 2.1. LNG <i>bunkering shuttle</i>	6
Gambar 2.2. Crossing waterways dengan risk area dari tabrakan kapal	7
Gambar 2.3. Perhitungan dari geometrical collision (D_{ij}).....	8
Gambar 2.4. Ilustrasi dari apparent diameter untuk kapal 1 striking kapal 2.	8
Gambar 2.5. <i>Bayesian network</i> model for ship-ship collisions dengan perhitungan untuk korelasi antara dua kapal	9
Gambar 2.6. <i>Danger part</i>	11
Gambar 2.7. Drifting distance.	12
Gambar 2.8. Ship – ship collision	14
Gambar 2.9. Penyederhanaan analisis konsekuensi tubrukan 2 kapal.	15
Gambar 3.1. Flowchart pengerjaan.	17
Gambar 3.2. Model <i>way point</i> dan <i>Leg</i> pada IWRAP MK II.....	20
Gambar 3.3. Pengaturan dari distribusi kapal yang lewat pada pemodelan alur.	21
Gambar 3.4. <i>Causation factor</i> yang menyatakan nilai peluang dari beberapa model tubrukan.....	21
Gambar 3.5. Data traffic yang menyatakan jumlah kapal yang melintas pada alur dengan <i>cluster</i> berdasarkan panjang dan jenis kapal.	22
Gambar 3.6. Jumlah kapal yang akan bergerak dari <i>Leg 2</i> ke <i>Leg 1</i> atau <i>Leg 3</i> dapat diatur dalam <i>way point</i>	23
Gambar 3.7. (a) Data bathymetry yang menyatakan kedalam perairan yang akan dianalisis dan (b) Data traffic area yang menyatakan kapal-kapal kecil yang tidak melintas pada alur.....	23
Gambar 3.8. Nilai tubrukan untuk satu jenis kapal dengan kapal lain.	24
Gambar 3.9. Nilai tubrukan yang spesifik pada <i>Leg</i> atau <i>way point</i> dan model tubrukan tertentu	24
Gambar 3.10. Masukkan data AIS pada <i>software</i> IWRAP.....	25
Gambar 3.11. Hasil masukan data AIS pada IWRAP.....	25
Gambar 3.12. Flowchart pengerjaan SAMSON model.....	26
Gambar 3.13. Distribusi arah angin di perairan Tanjung Perak selama satu tahun.	27
Gambar 3.14. Konsekuensi dari tubrukan yang dianalisis.	29
Gambar 4.1. Tabel Distribusi volume kapal yang keluar masuk Pelabuhan Tanjung Perak.	32
Gambar 4.2. Contoh data AIS dalam bentuk text.....	32
Gambar 4.3. Lokasi <i>ship to ship transfer</i> akan dilakukan.....	33
Gambar 4.4. Skenario <i>crossing collision</i>	33
Gambar 4.5. Model alur pada <i>software</i> IWRAP.	36
Gambar 4.6. Densitas dari alur sebagai acuan dalam menentukan posisi <i>Leg</i>	36

Gambar 4.7. Masukan data traffic volume pada <i>software</i>	37
Gambar 4.8. Hasil perhitungan untuk validasi <i>software</i>	38
Gambar 4.9. Prediksi frekuensi tubrukan <i>shuttle vessel</i> terhadap kapal yang melintas pada alur.	38
Gambar 4.10. Prediksi frekuensi tubrukan <i>shuttle vessel</i> terhadap kapal yang melintas pada alur dalam bentuk grafik.	39
Gambar 4.11. Prediksi frekuensi tubrukan <i>crossing collision</i> di masa depan. ...	40
Gambar 4.12. Skenario tubrukan <i>drifting collision</i> posisi sejajar.	41
Gambar 4.13. Skenario tubrukan <i>drifting collision</i> posisi berpotongan.	44
Gambar 4.14. Rekomendasi kapal memasuki area <i>Lego</i> jangkar selama transfer berlangsung.	47

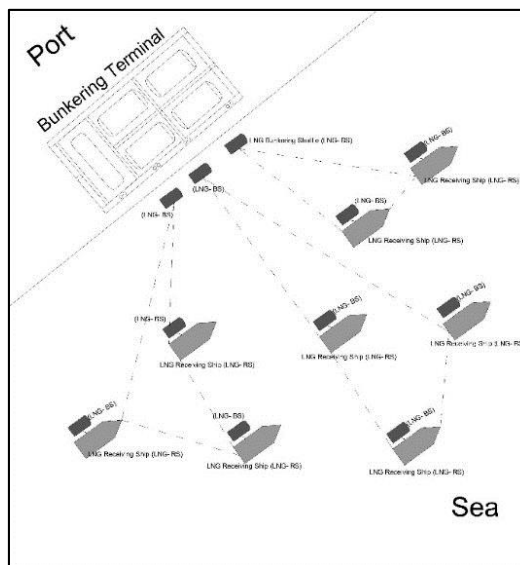
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah cadangan gas alam Indonesia yang besar dan kondisi Indonesia yang menjadi net importir bahan bakar minyak menjadi beberapa alasan mengapa konversi penggunaan bahan bakar minyak ke bahan bakar gas harus segera dilakukan. Cadangan gas alam Indonesia mencapai 152,89 TCF. Jumlah ini cukup besar jika dibandingkan dengan produksi gas alam yang telah dilakukan. Pada tahun 2012 produksi gas Indonesia hanya sekitar 3,17 TCF. Ditambah lagi jumlah yang dikonsumsi di dalam negeri hanya separuh dari jumlah produksi. Hal ini menyebabkan Indonesia menjadi salah satu eksportir gas nomor 7 terbesar di dunia pada tahun 2012 (Setiawan, 2014).

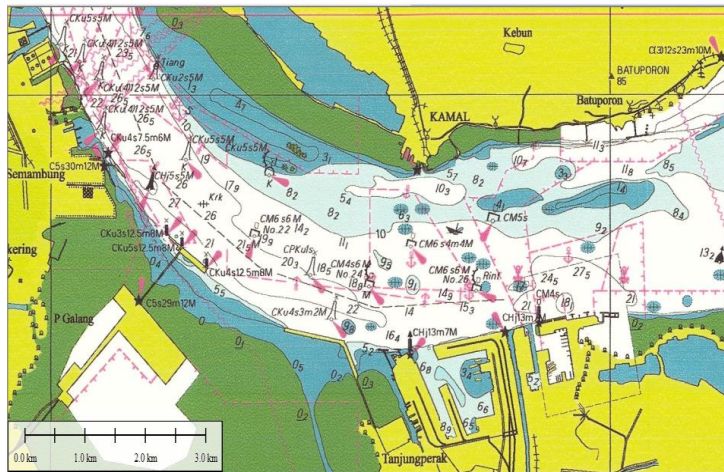
Konversi energi dilakukan pada segala sektor baik industri maupun transportasi. Beberapa *shipping company* telah merencanakan untuk mengganti motor penggerak utama kapal mereka dari *diesel engine* yang menggunakan bahan bakar minyak menjadi *dual fuel engine* yang menggunakan bahan bakar minyak dan bahan bakar gas. Berangkat dari konsep desain *shuttle vessel* untuk memenuhi kebutuhan *bunkering* bahan bakar yang ditulis Agastana (2016). Dalam tugas akhir ini, penulis akan melakukan penilaian pada kemungkinan tubrukan selama proses *ship to ship transfer* dilakukan. Dalam tulisan tersebut dinyatakan bahwa LNG *bunkering shuttle vessel* dapat mempercepat dan meningkatkan fleksibilitas kapal untuk proses pengisian bahan bakar. Berdasarkan pendekatan statistik jumlah kapal yang dapat menggunakan LNG sebagai bahan bakar diperkirakan sebanyak 701 kapal. Dalam hal ini, kapal-kapal akan dilayani oleh *bunkering shuttle* yang memiliki kapasitas tangki 350 m³. Berdasarkan hasil dari tugas akhir tersebut LNG harian yang dibutuhkan sebesar 1,445 m³ yang melayani 21 kapal menggunakan 6 *shuttle vessels* (Agastana, 2016).



Gambar 1.1. Skenario LNG bunkering shuttle vessels

Sumber: (Agastana, 2016)

Dari konsep tersebut direncanakan bahwa proses *bunkering* dapat dilakukan di area lego jangkar di Tanjung Perak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2. dimana kapal penerima dapat mengisi bahan bakar dengan menghubungi penyedia *bunkering shuttle vessel* dan memberitahukan posisi kapal yang ingin melakukan pengisian bahan bakar, maka *shuttle vessel* akan datang ke lokasi tersebut. Dengan kondisi ini memungkinkan terdapat beberapa kapal yang akan melakukan *bunkering* disatu waktu yang bersamaan. Gambar 1.1. mengilustrasikan bagaimana *ship to ship transfer* dilakukan di area lego jangkar. Sehingga dalam tulisan ini penulis akan mengkaji kemungkinan terjadinya tubrukan terhadap *shuttle vessel* selama proses *ship to ship transfer* dengan latar belakang analisis risiko.



Gambar 1.2. Lokasi *ship to ship transfer* yang direncanakan disekitar pelabuhan tanjung perak

Proses yang dimaksud dalam tugas akhir ini adalah kondisi dimana *shuttle vessel* akan menyebrangi alur menuju ke area parkir kemudian menghampiri *receiving vessel* hingga setelah *ship to ship transfer* selesai dan kapal harus kembali lagi ke alur. Kemungkinan tubrukan akan dinilai selama transfer berlangsung dimana saat *shuttle vessel* dan kapal penerima bahan bakar melakukan transfer akan ada kapal lain yang masuk ke area lego jangkar disaat yang bersamaan. Kemudian saat *shuttle vessel* kembali ke alur, di waktu yang sama kapal lain tetap akan melintas pada alur, disatu waktu tertentu ada kemungkinan *shuttle vessel* akan berpapasan dengan kapal – kapal tersebut kemudian mengalami tubrukan. Alur yang didefinisikan dalam tugas akhir ini adalah posisi dimana kapal biasa melintas di Selat Madura. Area labuh atau area parkir atau area lego jangkar merupakan area dimana *ship to ship transfer* akan dilakukan.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah – masalah yang harus diselesaikan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan lokasi *ship to ship transfer* untuk melakukan *bunkering* bahan bakar?

2. Bagaimana melakukan skenario kemungkinan tubrukan yang dapat terjadi?
3. Bagaimana menganalisis frekuensi tubrukan?
4. Bagaimana menganalisis konsekuensi dari tubrukan yang terjadi?

1.3 Batasan Masalah

1. *Shuttle vessel* LNG merupakan objek dari tubrukan.
2. Lokasi *bunkering* bahan bakar ditetapkan di area lego jangkar perairan Tanjung Perak Surabaya
3. Skenario tubrukan ditetapkan dengan model *crossing collision* dan *drifting collision*.
4. *Crossing collision* yang dimaksud adalah tubrukan antara *shuttle vessel* dengan kapal yang melintas di alur yang telah didefinisikan di pendahuluan di Perairan Tanjung Perak.
5. *Drifting collision* yang dimaksud adalah tubrukan oleh kapal yang lewat disekitar kapal yang sedang melakukan proses *ship to ship transfer* di area labuh/area lego jangkar/area parkir.
6. Konsekuensi tubrukan ditentukan dengan besarnya energi kinetik yang diterima oleh *shuttle vessel* akibat ditubruk kapal lain yang melintas.

1.4 Tujuan Skripsi

1. Menentukan lokasi *ship to ship transfer* di perairan Tanjung Perak Surabaya.
2. Menganalisis frekuensi tubrukan dengan model *crossing collision* sesuai metode IWRAP dan jarak aman terhadap kapal lain yang lewat menggunakan perhitungan *drifting collision* dengan *SAMSON* model.
3. Menganalisis konsekuensi dari tubrukan dalam bentuk energi yang diterima kapal tertubruk.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tulisan ini adalah pembaca dapat mengetahui bahwa *ship to ship transfer* adalah kegiatan yang aman dari segi analisis risiko tubrukan di wilayah perairan Tanjung Perak Surabaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Ship to ship transfer*

Ship to ship transfer kargo adalah prosedur yang awalnya digunakan pada sekitar tahun 1960an karena peningkatan rancangan dimensi yang membatasi akses kapal – kapal besar (VLCCs dan ULCCs) di terminal minyak tertentu yang melalui sungai dangkal di Teluk Meksiko (MAIB, 2010). *Ship to ship transfer operation* mengacu pada transfer kargo antara 2 kapal yang sedang berlayar di laut diposisikan berdampingan satu sama lain. Satu kapal yang disebut *constant heading vessel* bergerak konstan di satu jalur dengan kecepatan lambat, sementara kapal lain yang disebut *maneuvering vessel* mendekati kapal pertama untuk melakukan run-in prosedur. Proses selanjutnya disebut *transfer procedure* dimana muatan dari kapal satu akan dipindahkan ke kapal yang lain. Transfer procedure dapat dilakukan baik dalam kondisi stasioner ataupun *underway*. Umumnya, Prosedur *ship to ship transfer* terdiri dari empat fase yang berbeda yaitu tahap persiapan, tahap *mooring*, transfer kargo dan *unmooring*.

Saat ini, operasi *ship to ship transfer* memainkan peran penting untuk transfer kargo di skala dunia. Perkembangan signifikan ini disebabkan alasan yang berbeda yang melibatkan faktor-faktor operasional dan perdagangan; faktor operasional terkait dengan optimalisasi rencana distribusi antara sumber dan konsumen akhir sementara faktor perdagangan berkaitan dengan penyimpanan lepas pantai di kapal tanker karena situasi *contango*, yang telah muncul selama beberapa tahun terakhir. Kargo yang di transfer dapat berupa produk minyak bumi baik minyak mentah, atau gas cair seperti LPG atau LNG (Ventikosa, n.d.).

2.2 *LNG Bunkering Shuttle vessel*

LNG Bunkering Shuttle vessel adalah metode yang digunakan untuk menyederhanakan proses suplai bahan bakar LNG ke kapal. *LNG bunkering shuttle* juga dapat mengakomodasi operator kapal dengan atau tanpa berlabuh di daerah pelabuhan. Menggunakan *LNG bunkering shuttle* dapat mengurangi waktu antrian operator kapal.

Bunkering dengan *ship to ship transfer* dapat dilakukan di sepanjang pelabuhan saat kapal dalam kondisi *jetting* atau mungkin ketika kapal kargo berlabuh. Selain itu, opsi pengisian bahan bakar dari kapal ke kapal juga dapat dilakukan saat di laut. Dibandingkan dengan pilihan lain, *bunkering* dengan kapal ke kapal lebih fleksibel, dalam hal kapasitas dan lokasi untuk melakukan *bunkering*. *LNG bunkering* dengan kapal ke kapal sering disebut dengan *bunkering shuttle*. *Bunkering shuttle* ini akan memanfaatkan fasilitas dari penelitian sebelumnya di pelabuhan Gresik dimana opsi *bunkering* yang dipilih adalah *onshore to ship* (Saputro, 2015). *Bunkering shuttle* akan mengisi kapal-kapal besar, sehingga akan membuat lebih mudah bagi kapal untuk mengisi bahan bakar. Dalam hal ini, *bunkering shuttle* akan menjadi pilihan yang menarik karena dapat mempercepat pengisian bahan bakar untuk kapal (Agastana, 2016).

Gambar 2.1. mengilustrasikan *shuttle vessel* LNG dengan data sebagai berikut:

- Kapasitas: 350 m³
- Tipe Kapal: LNG Buker Shuttle

- LOA : 41.5 m
- Breadth : 10 m
- Draught : 2.5 m
- Velocity : 6.0 knot (Service)
- Pump Capacity : 183.3 m³/hour



Gambar 2.1. LNG bunkering shuttle.

Sumber: (LNG-bunkering-in-Europe.jpg)

2.3 Prediksi Tubrukan dengan Metode IWRAP

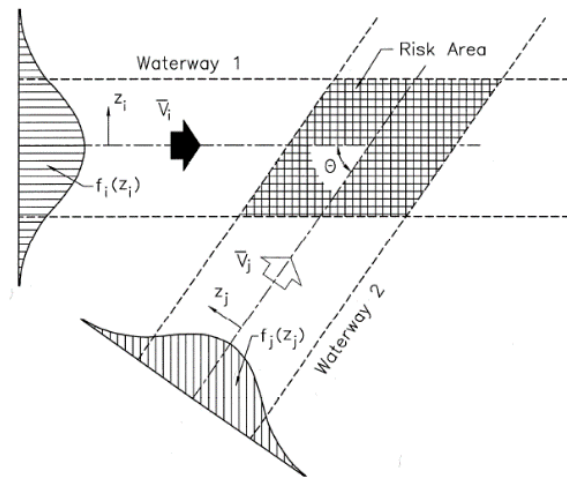
Prosedur konseptual untuk perhitungan frekuensi tubrukan mengikuti prinsip – prinsip konseptual yang telah dirumuskan oleh Fujii. Prosedur pertama melibatkan perhitungan *geometric number* dari tubrukan, N_G , kemudian dikalikan dengan *causation factor*, P_C . maka frekuensi tubrukan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda_{col} = P_C \times N_G \quad (1)$$

Geometric number mendefinisikan kandidat kapal yang akan mengalami tubrukan terhadap area dimana tubrukan mungkin terjadi sesuai dengan model dari masing masing tubrukan. *Causation factor* menyatakan nilai dari besarnya peluang tubrukan yang dapat terjadi. Analisis ini dibuat pada kondisi dimana lalu lintas kapal telah dikelompokkan sesuai dengan jenis kapal, ukuran kapal, muatan kapal, kondisi *ballast*, dengan atau tanpa *bulbous bow* dan lain sebagainya. Serta jumlah kapal per satuan waktu telah terdaftar untuk masing – masing alur pelayaran (Hansen , 2007).

2.4 Crossing collision

Crossing collision adalah tubrukan yang terjadi dimana dua kapal bergerak berada pada posisi berseberangan. Pada kondisi ini *shuttle vessel* yang akan menuju ke kapal receiver atau saat *shuttle vessel* akan manjauhi kapal *reciever* setelah *ship to ship transfer* selesai memungkinkan untuk terjadinya *crossing collision* dengan kapal lain yang sedang melintas disekitarnya (Hansen , 2007).



Gambar 2.2. *Crossing waterways* dengan *risk area* dari tabrakan kapal
Sumber: (Hansen , 2007)

Frekuensi dari *crossing collision* tergantung pada sudut antara dua jalur dimana kapal melintas. *Geometric number* (N_G) dari *crossing collision* dirumuskan sebagai berikut:

$$N_g^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i Q_j}{V_i V_j} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta} \quad \text{untuk } 10^\circ < |\theta| < 170^\circ \quad (2)$$

Dimana:

- Q_i = frekuensi *shuttle vessel* di jalur i.
- Q_j = frekuensi kapal di jalur j yang melintas disekitar area *ship to ship transfer*.
- V_i = kecepatan *shuttle vessel* di jalur i.
- V_j = kecepatan kapal di jalur j.
- D_{ij} = *crossing collision* diameter.
- V_{ij} = kecepatan relatif kedua kapal.
- θ = sudut terjadinya tubrukan.

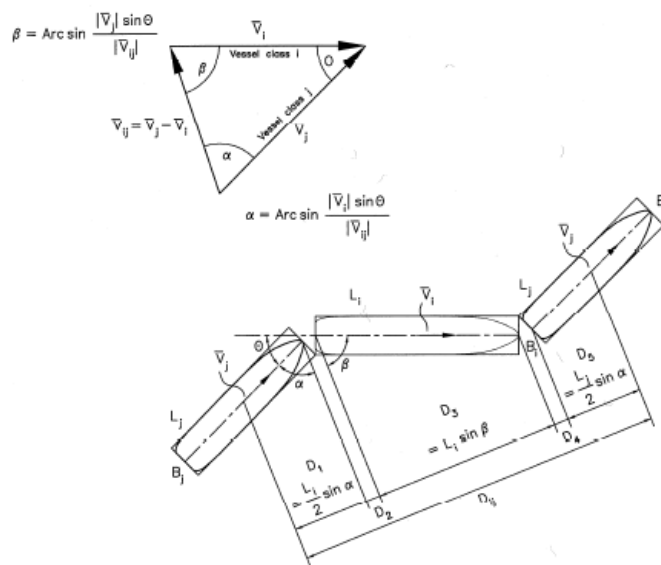
Dengan V_{ij} dapat dihitung menggunakan persamaan $\sqrt{V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta}$. Gambar 7. menunjukkan skema yang menggambarkan bagaimana cara mengetahui nilai dari *crossing collision* diameter (D_{ij}). D_{ij} dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$D_{ij} = \frac{L_i V_j + L_j V_i}{V_{ij}} \sin \theta + B_j \left\{ 1 - \left(\sin \theta \frac{V_i}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2} + B_i \left\{ 1 - \left(\sin \theta \frac{V_j}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (3)$$

Dimana:

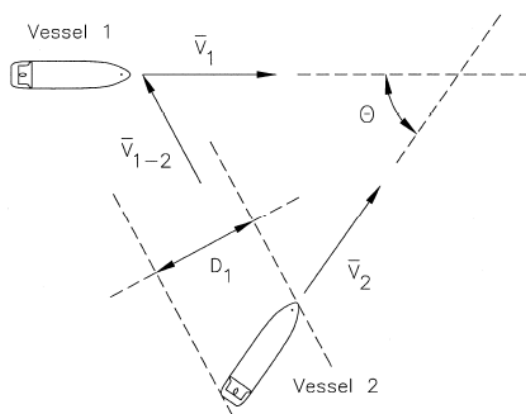
- L_i = fungsi dari panjang kapal i.

- B_i = lebar kapal i.
 V_i = kecepatan kapal i.
 L_j = panjang kapal j.
 B_j = lebar kapal j.
 V_j = kecepatan kapal j,
 V_{ij} = kecepatan relatif kedua kapal
 θ = sudut terjadinya tubrukan.



Gambar 2.3. Perhitungan dari *geometrical collision* (D_{ij}).

Sumber: (Hansen , 2007)



Gambar 2.4. Ilustrasi dari *apparent diameter* untuk kapal 1 *striking* kapal 2.

Sumber: (Hansen , 2007)

Fujii dan Mizuki juga melakukan beberapa observasi untuk menentukan nilai dari *causation probability*. Nilai P_c ditentukan menurut perhitungan dengan *Bayesian network* dan hasil observasi Fujii ditunjukkan dalam table berikut.

Table 2.1. *Causation factors* yang ditentukan dengan *bayesian network*

	Conventional	Solo Watch
Conventional	9×10^{-5}	$7,55 \times 10^{-5}$
Solo Watch	$4,3 \times 10^{-5}$	3×10^{-5}

Sumber: (Hansen , 2007)

Table 2.2. *Causation factors* yang ditentukan oleh hasil observasi fujii dan mizuki.

	Log P	+/-	P
Head-On	-4,31	0,35	$4,90 \times 10^{-5}$
Overtaking	-3,96	0,36	$1,10 \times 10^{-5}$
Crossings	-3,89	0,34	$1,29 \times 10^{-5}$
Grounding	-3,80	0,26	$1,59 \times 10^{-5}$
Object	-3,73	0,36	$1,86 \times 10^{-5}$

Sumber: (Hansen , 2007)

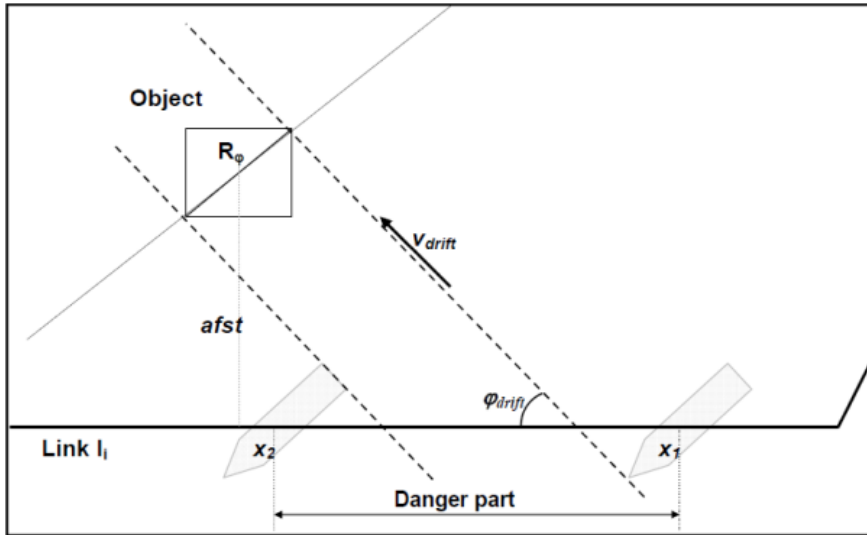
2.5 Samson Model (Contact Drift Model)

Drifting collision merupakan skenario dimana sebuah kapal melintas di jalur tertentu kemudian mengalami kerusakan sistem penggerak dan mengapung begitu saja di atas air hingga menyimpang dari alur lalu menabrak kapal atau objek tertentu pada lokasi disekitar kapal mengalami kerusakan di tengah laut. Penyimpangan alur kapal dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan seperti kecepatan angin dan arus.

SAMSON model mengasumsikan kapal berlayar sepanjang garis diantara *waypoint* satu ke *waypoint* lain yang disebut *link*. Ketika kegagalan motor penggerak terjadi kapal diasumsikan hanyut mengikuti arah angin. Oleh karena itu, tidak semua kapal akan hanyut dan menabrak objek meski kapal tidak mampu untuk diperbaiki dalam waktu lama (Contact_drift.pdf, 2017).

Langkah pertama yang harus dilakukan untuk menentukan kandidat dari kapal – kapal yang mungkin menabrak objek (kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer*) adalah menentukan pada link mana kapal akan menabrak objek jika kapal mengalami kegagalan motor penggerak. Bagian *link* ini disebut *danger part*. *Danger part* bergantung pada koordinat *waypoint* yang menghubungkan *link*, dimensi dan orientasi objek, panjang kapal dan *drift direction*.

Kedua adalah jarak *drifting* dari seluruh posisi link yang mungkin akan menghantam objek pada *danger part*. *Link* akan diwakili oleh sebuah garis lurus, jarak antar posisi kapal dengan objek akan menjadi fungsi dari posisi kapal itu pada *link*.



Gambar 2.6. *Danger part*
 Sumber : (Contact_drift.pdf, 2017)

Ketiga, sebuah kapal yang hanyut dapat menabrak objek jika kapal tersebut membutuhkan waktu cukup lama untuk memperbaiki kegagalan sistem penggerak yang terjadi. Dengan demikian maka perlu diketahui besarnya kecepatan kapal saat hanyut. Kecepatan ini akan bergantung pada angin, gelombang dan kecepatan arus. Arah hanyut kapal diasumsikan sama dengan arah angin.

Langkah keempat adalah untuk menghitung peluang dimana waktu *drifting* lebih lama dari waktu motor penggerak dapat diperbaiki saat mengalami kegagalan (Contact_drift.pdf, 2017).

$$P_{EF}(t > t_s)$$

dimana:

$P_{EF}(t > t_s)$: peluang motor penggerak gagal selama t_s jam atau lebih lama

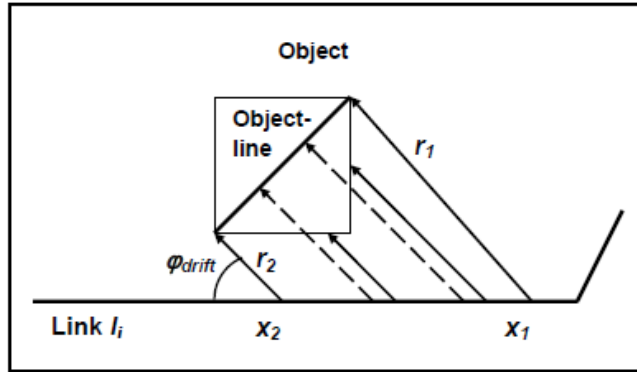
Sehingga peluang kapal dapat menghantam objek pada posisi tertentu di *danger part* ($P_{DRIFT(x)}$) ditentukan sebagai berikut:

$$P_{DRIFT(x)} = P_{EF}(t > t(x)) \quad (4)$$

$$t(x) = \frac{r(x)}{V_{drift}} \quad (5)$$

dimana:

$r(x)$ adalah jarak titik x pada *danger part* terhadap objek. $r(x)$ menyatakan keseluruhan jarak pada setiap titik pada *danger part* yang dapat menghantam objek.



Gambar 2.7. Drifting distance.

Sumber : (Contact_drift.pdf, 2017)

Dari gambar di atas $r(x)$ dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. *Object line* sejajar dengan *link* dimana ($|r_1 - r_2| < 0.001$)

$$r(x) = r_1 \quad (6)$$

2. *Object line* tidak berpotongan dengan *link* dimana ($|r_1 - r_2| > 0.001$)

$$r(x) = \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \quad (7)$$

3. *Object line* berpotongan dengan link

$$x_0 = x_1 - r_1 \frac{x_2 - x_1}{r_2 - r_1} \quad (8)$$

$$x \in [x_1, x_0]: r_I = \frac{|r_1|}{r_1 - r_0} (x - x_0)$$

$$x \in [x_0, x_2]: r_{II} = \frac{|r_2|}{x_2 - x_0} (x - x_0)$$

V_{drift} adalah kecepatan kapal saat hanyut. Kecepatan ini dedefinisikan dalam persamaan:

$$V_{drift} = \sqrt{\frac{\rho_{air} A_{Lin} c_{dwind}}{\rho_w L_i T_{in} c_d} V_b^2 + \frac{1}{8} \frac{\zeta_b^2 g R^2}{T_{in} c_d}} \quad (9)$$

Asumsi :

$C_{dwind} = 0,9$ untuk semua tipe kapal

$C_d = 0,8$ untuk semua tipe kapal

Dimana :

V_{drift} = *drifting velocity* kapal i pada kondisi berbeban dengan angin dan gelombang mengikuti *Beaufort class* b

v_b = *wind velocity* untuk *Beaufort class* b

ρ_{air} = densitas udara

ρ_w = densitas air

A_{Lin} = permukaan lateral udara pada kapal i saat kondisi berbeban n

L_i = panjang kapal i

T_{in} = sarat kapal i pada kondisi berbeban n

ζ_b = *significant wave amplitude* diasumsikan dihasilkan untuk *Beaufort class* b

C_{dwind} = koefisien permukaan lateral angin kapal

C_d = koefisien gesekan lateral pada lambung yang tercelup air

R = *wave drift coefficient*

g = *gravity constant*

Dengan mengintegrasikan fungsi $P_{DRIFT(x)}$ untuk semua titik bahaya pada *danger point*, sehingga diperoleh peluang *drifting* dari kapal yang akan mengantam objek adalah sebagai berikut:

$$P_{DRIFT} = \int_{x_1}^{x_2} P_{Drift} dx$$

Dengan x_1 dan x_2 adalah titik batas dari *danger part*

Sehingga *Danger Mile* (DM) untuk *link* l :

$$DM(l) = P_{DRIFT}(li) \times N_{ship}(li) \quad (10)$$

Langkah terakhir untuk menentukan jumlah kapal yang akan menabrak objek adalah dengan mengalikan *danger mile* dengan kemungkinan kegagalan mesin.

$$N_{DRIFT} = \sum li DM(li) \times P_{ENGINE FAILURE} \quad (11)$$

Dimana :

N_{DRIFT} = jumlah kapal yang akan menabrak objek dari *link* li

2.6 Konsekuensi Tubrukan

Konsekuensi dari tubrukan dalam tulisan ini dihitung dengan menggunakan persamaan yang dirumuskan dalam jurnal *A Guide To Quantitative Risk Assessment for Offshore Instalation*. Besarnya *impack energy* dari tubrukan kapal didasarkan pada energi kinetik yang dimiliki oleh kapal. Besarnya energi ini dihitung dengan persamaan terminologi yang dipakai untuk mempermudah pelaksanaan HAZOP antara lain sebagai berikut (Spouge, 1999):

$$E = \frac{1}{2} \frac{M}{1000} k V^2 \quad (12)$$

Dimana:

E = impact energy (MJ)

M = massa kapal (tonnes)

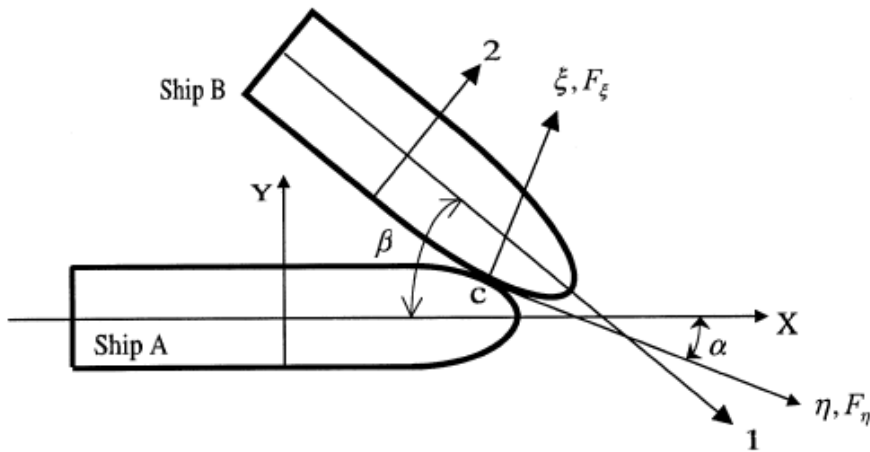
k = hydrodynamic added mass constant, taken as (DEn 1990):

1.1 for head-on (powered) impact

1.4 for broadside (drifting) impact

V = kecepatan kapal (m/s) = 0.514 x knots

Menurut Zhang (1999) sebuah kapal A bergerak dan menubruk kapal B dengan kecepatan V_{az} saat berlayar dan kecepatan sway V_{ay} saat terjadi tubrukan terhadap kapal B yang bergerak dengan kecepatan awal V_{b1} dan kecepatan sway V_{b2} dengan C sebagai *impact poin* yang dinyatakan dalam $\xi \eta$ -system. Arah ξ adalah nilai normal dari *impact surface*, sudut perpotongan sumbu X dengan arah η adalah α dan sudut perpotongan sumbu X dengan 1 adalah β (Shengming, 1999).



Gambar 2.8. Ship – ship collision

Sumber: (Shengming, 1999)

Sehingga besarnya energi yang diserap kapal B dapat dihitung dengan persamaan:

$$E_{\xi} = \frac{1}{2} \frac{1}{D_{\xi} \mu D_{\eta}} \dot{\xi}(0)^2 \quad (13)$$

dengan:

E_{ξ} = Energi yang diserap kapal B

$$D_{\xi} = \frac{D_{a\xi}}{M_a} + \frac{D_{b\xi}}{M_b} \quad (14)$$

$$D_{\eta} = \frac{D_{a\eta}}{M_a} + \frac{D_{b\eta}}{M_b} \quad (15)$$

$$\dot{\xi}(0) = V_{ax} \cos \alpha + V_{ay} \sin \alpha - V_{b1} \cos(\beta - \alpha) - V_{b2} \sin(\beta - \alpha) \quad (16)$$

Dimana:

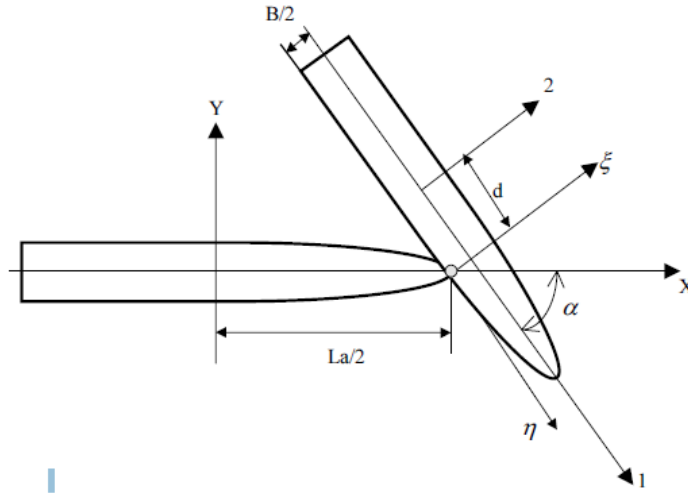
M adalah massa kapal

$$D_{a\xi} = \frac{1}{1+m_{ax}} \sin^2 \alpha + \frac{1}{1+m_{ay}} \cos^2 \alpha + \frac{1}{1+j_a} \frac{[y_c \sin \alpha - (x_c - x_a) \cos \alpha]^2}{R_a^2} \quad (17)$$

$$D_{a\eta} = \frac{1}{1+m_{ax}} \sin \alpha \cos \alpha + \frac{1}{1+m_{ay}} \sin \alpha \cos \alpha + \frac{1}{1+j_a} \frac{[y_c \sin \alpha - (x_c - x_a) \cos \alpha][y_c \cos \alpha - (x_c - x_a) \sin \alpha]}{R_b^2} \quad (18)$$

$$D_{b\xi} = \frac{1}{1+m_{b1}} \sin^2(\beta - \alpha) + \frac{1}{1+m_{b2}} \cos^2(\beta - \alpha) + \frac{1}{1+j_b} \frac{[(y_c - y_b) \sin \alpha - (x_c - x_b) \cos \alpha]^2}{R_a^2} \quad (19)$$

$$D_{b\eta} = \frac{1}{1+m_{b1}} \sin(\beta - \alpha) \cos(\beta - \alpha) + \frac{1}{1+m_{b2}} \sin(\beta - \alpha) \cos(\beta - \alpha) + \frac{1}{1+j_b} \frac{[(y_c - y_b) \sin \alpha - (x_c - x_b) \cos \alpha][(y_c - y_b) \cos \alpha - (x_c - x_b) \sin \alpha]}{R_b^2} \quad (20)$$



Gambar 2.9. Penyederhanaan analisis konsekuensi tubrukan 2 kapal.

Sumber: (Shengming, 1999)

Jika diasumsikan $\alpha = \beta$, maka nilai $D_{a\xi}$, $D_{a\eta}$, $D_{b\xi}$ dan $D_{b\eta}$ dapat disederhanakan menjadi:

$$D_{a\xi} = \frac{1}{1+m_{ax}} \sin^2 \alpha + \frac{1}{1+m_{ay}} \cos^2 \alpha + \frac{4}{1+j_a} \cos^2 \alpha$$

$$D_{a\eta} = \left(\frac{1}{1+m_{ax}} - \frac{1}{1+m_{ay}} - \frac{4}{1+j_a} \right) \sin \alpha \cos \alpha$$

$$D_{b\xi} = \frac{1}{1+m_{b2}} + \frac{16}{1+j_b} \times \left(\frac{d}{L_b}\right)^2$$

$$D_{b\eta} = \frac{8}{1+j_b} \times \frac{B \times d}{L_b^2}$$

Berdasarkan persamaan (13) besarnya penetrasi yang diakibatkan pada kapal B karena energi yang diserap dari tubrukan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{w}{l} = \sqrt{\frac{2 \times E}{R_T \times \sigma_o}} \quad (21)$$

dengan

$\frac{w}{l}$ = dalamnya penetrasi

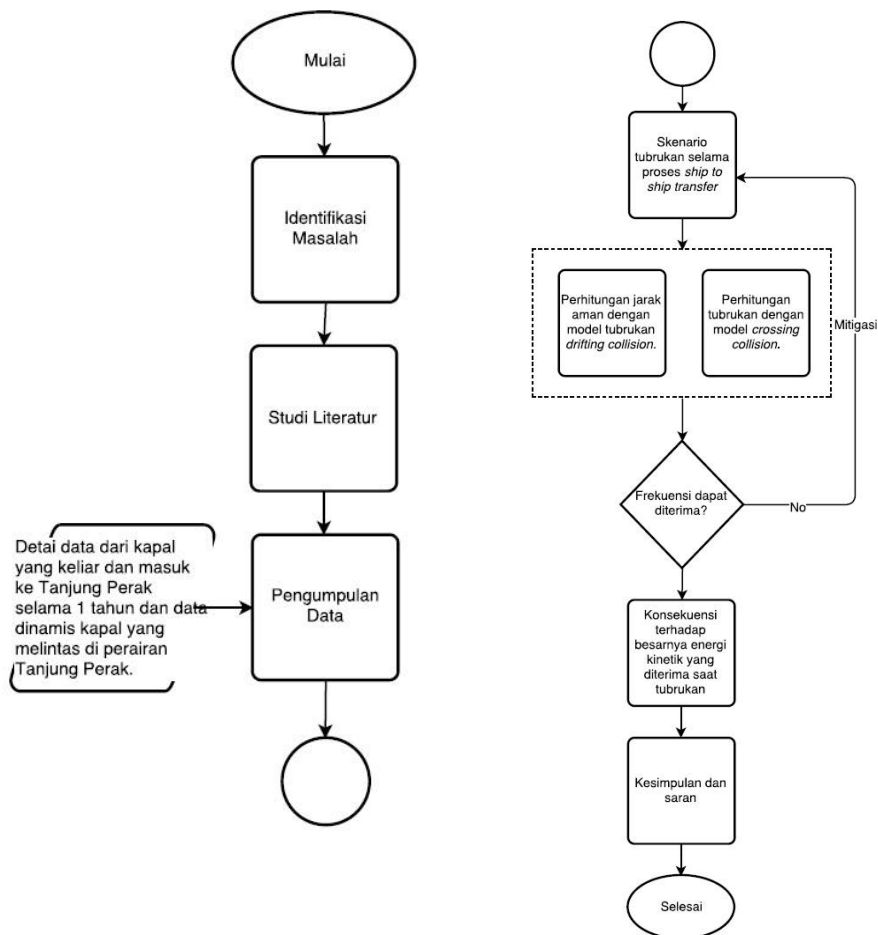
E = *absorbed energy*

R_T = *resistance factor*

σ_o = *flow stress of material*

BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian adalah cara atau langkah dalam melakukan suatu dengan pikiran untuk mencapai suatu tujuan. Dalam metodologi penelitian ini, akan diuraikan tahap demi tahap yang akan dilakukan dalam pengerjaan skripsi ini. Adapun tahapan-tahapannya dijelaskan dalam *flow chart* berikut :



Gambar 3.1. Flowchart pengerjaan.

Gambaran umum langkah – langkah pengerjaan diatas seperti tertera dalam flowchart di atas akan dijabarkan sebagai berikut.

3.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pengerjaan skripsi. Permasalahan harus dihimpun dan disusun demikian rupa sehingga menjadi sebuah kasus yang layak untuk dipecahkan dan diselesaikan. Pencarian suatu masalah dapat dilakukan dengan cara

menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dan diselesaikan dapat diketahui. Dalam tulisan ini masalah diperoleh dari penelitian sebelumnya dimana sebuah gagasan dari Agastana (2016) tentang *bunkering* bahan bakar LNG dengan metode *ship to ship transfer* yang memungkinkan proses *bunkering* dilakukan di tengah laut dan lebih fleksibel. Namun demikian, lokasi dari kegiatan ini yaitu pada area lego jangkar perairan Tanjung Perak yang ramai dimana selama proses *ship to ship transfer* berlangsung terdapat kapal – kapal lain yang melintas untuk memasuki area lego dimana proses transfer berlangsung serta posisi area lego jangkar yang berdekatan dengan alur pelayaran kapal sangat memungkinkan bahwa selama proses ini dapat terjadi tubrukan antara kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer* dengan kapal – kapal yang melintas disekitarnya. Sehingga perlu dilakukan penilaian risiko bahwa kegiatan *ship to ship transfer* di lokasi ini aman dari peristiwa tubrukan kapal.

3.2 Studi Literatur

Langkah selanjutnya setelah permasalahan diketahui adalah mencari literature – literature terkait dengan masalah sebagai teori dasar yang harus dipengang penulis untuk dapat menyelesaikan masalah dengan baik. Dalam hal ini adalah teori – teori tentang tubrukan kapal. Tulisan – tulisan yang relevan dapat membantu penulis untuk menyelesaikan tulisan ini berupa buku, artikel yang berisi fakta dan jurnal – jurnal ilmiah. Buku, artikel yang berisi fakta dan jurnal – jurnal ilmiah tersebut diantaranya

1. IWRAP MK II *working document*
2. IWRAP *Manual Book*
3. MARIN, *Contact Drift Model*, 2014
4. *Paper* dan jurnal tentang *Bayesian network*.
5. *Paper* dan jurnal tentang *Collision*

3.3 Pengumpulan Data

Pada langkah ini penulis mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk membantu menyelesaikan tugas akhir tersebut. Data – data yang dibutuhkan dalam penelitian ini diantaranya:

1. Data detail dari kapal yang keluar masuk pelabuhan Tanjung Perak.
2. Data lokasi lego jangkar di sekitar Tanjung Perak.
3. Data kapal dinamis dari AIS.
4. Data arah angin dan gelombang di perairan Tanjung Perak Surabaya
5. Data ukuran utama beberapa kapal dari AIS dan badan kalsifikasi yang diperoleh secara online.

3.4 Skenario Tubrukan Selama Proses Ship to Ship Transfer

Sebelum melakukan perhitungan, terlebih dahulu penulis menentukan skenario tubrukan apa saja yang mungkin selama proses *ship to ship transfer* berlangsung. Proses yang dimaksud dalam skripsi ini adalah posisi dimana *shuttle vessel* berada di alur kemudian menyeberang menuju lokasi lego jangkar untuk menghampiri *receiving vessel*

kemudian saat *ship to ship transfer* berlangsung dan saat *shuttle vessel* kembali ke alur setelah *ship to ship transfer* selesai. Model tubrukan yang digunakan adalah model *crossing collision* dan *drifting collision*. Lokasi yang ditetapkan pada skripsi ini adalah lokasi lego jangkar di perairan Tanjung Perak. Pada lokasi tersebut hanya 2 model tubrukan yang mungkin terjadi yaitu *crossing collision* dan *drifting collision*. *Crossing collision* terjadi saat *shuttle vessel* kembali ke alur setelah *ship to ship transfer* selesai. *Drifting collision* terjadi selama *ship to ship transfer* berlangsung terhadap kapal yang melintas di sekitar *shuttle vessel* dan *receiving vessel*.

3.5 Analisis Frekuensi

Dari skenario yang telah ditetapkan pada bagian sebelumnya maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui frekuensi tubrukan dari skenario tersebut. Dalam skripsi ini akan menggunakan metode IWRAP untuk frekuensi *crossing collision* dan SAMSON untuk frekuensi *drifting collision*.

3.5.1 *Crossing collision* dengan IWRAP Theory

Crossing collision diasumsikan dapat terjadi saat *shuttle vessel* selesai melakukan *ship to ship transfer* dan bergerak menuju ke alur untuk kembali ke terminal pengisian bahan bakar. Disaat yang sama alur tetap akan dilewati kapal – kapal baik yang keluar dari pelabuhan maupun masuk ke pelabuhan. Posisi lokasi lego jangkar tegak lurus terhadap alur, sehingga untuk kembali ke alur *shuttle vessel* akan melintas dari posisi yang perpotongan dengan kapal – kapal lain yang melintas.

Perkiraan frekuensi tubrukan ditentukan oleh dua nilai yaitu *geometric number* (N_G) dan *causation probability* (P_c). Pada *crossing collision* nilai *geometric number* merupakan fungsi dari dua kapal yang melintas pada dua jalur yang berpotongan membentuk sudut tertentu dan bergerak dengan kecepatan tertentu.

Frekuensi kapal yang melintas dinyatakan dalam Q_i dan Q_j . Dalam hal ini Q_i adalah frekuensi dari *shuttle vessel* yang melintas pada jalur i selama satu tahun. Q_j adalah kapal – kapal lain yang melintas pada jalur j selama satu tahun. Perhitungan dapat dilakukan secara spesifik yaitu *shuttle vessel* terhadap satu kelompok jenis kapal tertentu untuk hasil yang lebih akurat, namun pada perhitungan manual ini penulis akan menghitung nilai N_G secara menyeluruh. Perhitungan detail kemudian akan dilakukan pada penggunaan *software*.

Kecepatan dinyatakan dalam V_i dan V_j . V_i adalah kecepatan *shuttle vessel* selama berada di jalur i. V_j adalah kecepatan kapal yang keluar ataupun masuk ke Pelabuhan Tanjung Perak. V_j dapat dinyatakan untuk masing - masing jenis kapal yang melintas pada jalur dengan kelompok panjang tertentu. Perhitungan seperti ini dapat memberikan hasil yang lebih akurat. Namun dalam perhitungan manual, V_j akan dinyatakan dalam rata – rata kecepatan kapal yang keluar masuk ke wilayah Pelabuhan Tanjung Perak. Perhitungan lebih detail kemudian akan dilakukan pada *software*.

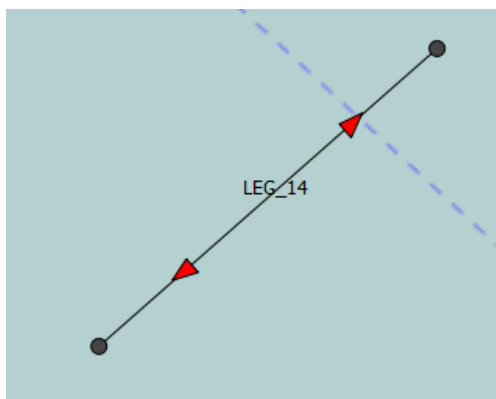
D_{ij} menyatakan diameter dari area tubrukan yang merupakan fungsi dari panjang kapal, kecepatan kapal dan sudut terjadinya tubrukan. Panjang kapal dinyatakan dalam L_i yang merupakan panjang *shuttle vessel* pada jalur i dan L_j merupakan panjang kapal pada jalur j. L_j dapat dinyatakan untuk masing - masing jenis kapal yang melintas pada jalur dengan kelompok panjang tertentu. Perhitungan seperti ini dapat memberikan hasil

yang lebih akurat. Namun dalam perhitungan manual ini, L_j akan dinyatakan dalam rata – rata kecepatan kapal yang keluar masuk ke wilayah Pelabuhan Tanjung Perak V_{ij} merupakan kecepatan relative kedua kapal.

P_c menyatakan peluang terjadinya tubrukan di area perairan Tanjung Perak. Nilai P_c ditetapkan pada penelitian ini adalah $1,08 \times 10^{-4}$. Nilai ini diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Yeyes Mulyadi (2014). Dengan mengalikan nilai N_G dan P_c maka prediksi frekuensi *crossing collision* pada skenario ini dapat ditentukan.

3.5.2 IWRAP Software

Dasar perhitungan tubrukan yang dijelaskan pada bagian sebelumnya dalam tulisan ini kemudian diterjemahkan dalam suatu program komputer yang bernama IWRAP MK II. IWRAP memetakan frekuensi tubrukan dengan sangat terperinci. Data kapal di *cluster* berdasarkan jenis dan panjang kapal dalam *range* tertentu. Pembagian ini memungkinkan untuk mengetahui nilai dari kemungkinan tubrukan untuk setiap jenis kapal yang lewat di suatu perairan termasuk kapal – kapal kecil seperti kapal kayu bila data kapal dan area pergerakannya diketahui. Gambar 3.2. menggambarkan area yang dianalisis akan dimodelkan dalam bentuk *LEG* (garis) dan *WAY POIN* (titik) pada *software* IWRAP.

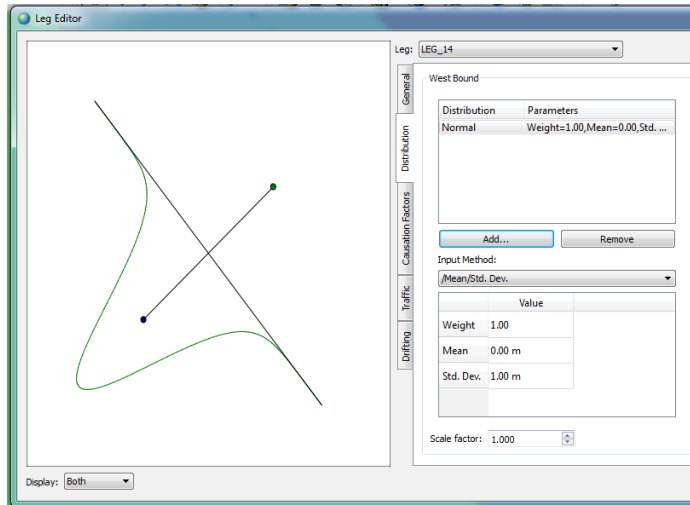


Gambar 3.2. Model way point dan Leg pada IWRAP MK II.

Sumber: (Software IWRAP MK II v5.2.0., 2017)

LEG secara umum akan menyatakan lebar dari alur yang dilalui kapal, distribusi alur, *causation faktor*, data *traffic* dan data *drifting*.

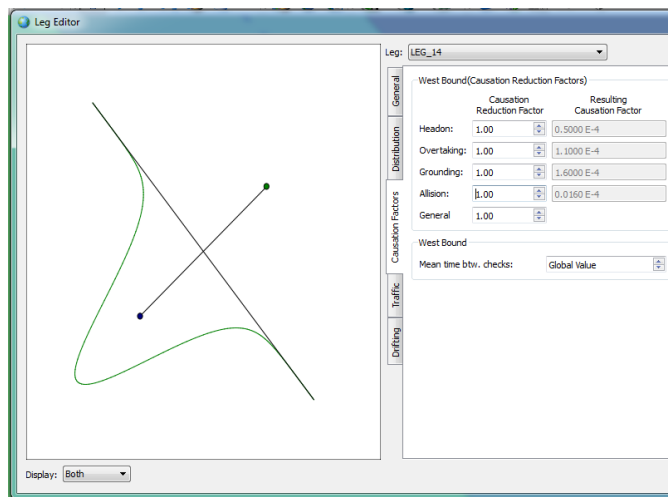
Terdapat beberapa jenis distribusi yang disediakan dalam *software* ini diantaranya distribusi normal, *gumbel*, *weibull*, *uniform*, *beta* dan *upnormal*. Distribusi alur pada tugas akhir ini menggunakan distribusi normal. Nilai rata – rata akan menyatakan posisi dimana sebagian besar kapal lewat pada alur. Standar deviasi akan menyatakan posisi terjauh kapal melintas dari rata – rata posisi kapal melintas pada alur. Gambar 3.3. menunjukkan tampilan pengaturan distribusi alur pada *software* IWRAP MK II.



Gambar 3.3. Pengaturan dari distribusi kapal yang lewat pada pemodelan alur.

Sumber: (Software IWRAP MK II v5.2.0., 2017).

Secara *default* IWRAP telah memberikan rekomendasi nilai *causation factor* (P_c) untuk setiap model tubrukan yang dapat terjadi. Nilai P_c juga dapat diubah dengan melakukan perhitungan manual menyesuaikan dengan perairan yang akan dianalisis frekuensi tubrukannya. Khusus untuk *crossing collision* IWRAP merekomendasikan menggunakan metode *Bayesian network* untuk menghitung peluang terjadinya tubrukan antar 2 kapal. Gambar 3.4. menunjukkan tampilan masukan nilai *causation factor* pada software IWRAP MK II.



Gambar 3.4. *Causation factor* yang menyatakan nilai peluang dari beberapa model tubrukan

Sumber: (Software IWRAP MK II v5.2.0., 2017)

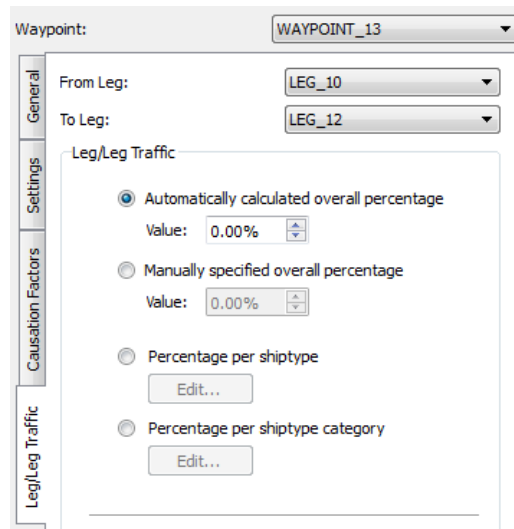
Frekuensi kapal yang melintas di alur dikelompokkan menurut jenis kapal dan panjang kapal dengan rentang 25 meter. Dalam kelompok kecil ini IWRAP juga memfasilitasi masukan data kecepatan rata – rata, sarat rata – rata dan beberapa data lainnya yang mendukung perhitungan dari *software* ini. Gambar 3.5. menunjukkan tampilan masukan nilai frekuensi, kecepatan rata – rata, sarat rata – rata dan beberapa nilai lainnya pada *Leg Editor*. Pengaturan dilakukan pada setiap *Leg* yang dibuat pada model. Jumlah kapal pada *Leg* satu dengan *Leg* lain dapat dibuat berbeda sesuai dengan kondisi alur sesungguhnya atau skenario yang dibuat untuk analisis. Untuk *Leg* dengan densitas kapal yang sama, nilai pada *Leg* satu dapat di-copy pada *Leg* lain.

	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier
0-25	0	0	0	0	0	0	0
25-50	0	0	0	0	0	0	0
50-75	0	0	0	0	0	0	0
75-100	0	0	0	0	0	0	0
100-125	0	0	0	0	0	0	0
125-150	0	0	0	0	0	0	0
150-175	0	0	0	0	0	0	0
175-200	0	0	0	0	0	0	0
200-225	0	0	0	0	0	0	0
225-250	0	0	0	0	0	0	0
250-275	0	0	0	0	0	0	0
275-300	0	0	0	0	0	0	0
300-325	0	0	0	0	0	0	0
325-350	0	0	0	0	0	0	0
350-375	0	0	0	0	0	0	0
375-400	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 3.5. *Data traffic* yang menyatakan jumlah kapal yang melintas pada alur dengan *cluster* berdasarkan panjang dan jenis kapal.

Sumber: (Software IWRAP MK II v5.2.0., 2017)

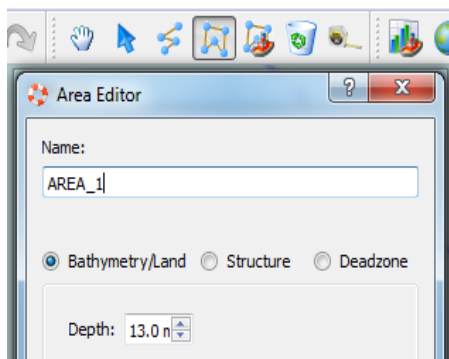
Way poin dapat menyatakan pergerakan kapal dari satu *Leg* ke *Leg* lain. Apabila dalam alur terdapat percabangan, cabang tersebut harus melalui *Way poin*. Jika terdapat dua *Leg* yang saling bersilangan tidak melalui *Way poin* dianggap *error* oleh *software* ini. Sama seperti pada *Leg*, beberapa nilai juga harus dimasukkan dalam pengaturan *Way poin*. Pengaturan pada *Way Poin* sama seperti pada pengaturan *Leg* hanya saja pada *Way point* penulis dapat mengatur jumlah kapal yang menuju dari satu *Leg* ke *Leg* lain terutama jika terdapat percabangan. Gambar 3.6. menunjukkan tampilan masukan data yang dapat dilakukan pada pengaturan *Way point*.



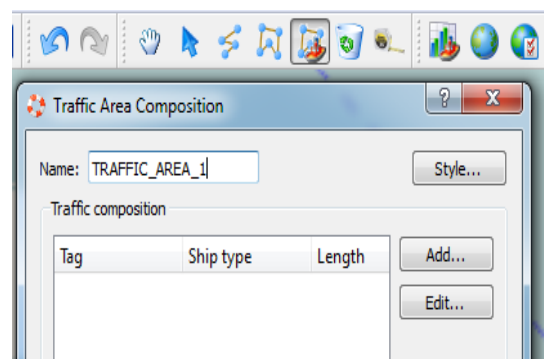
Gambar 3.6. Jumlah kapal yang akan bergerak dari *Leg* 2 ke *Leg* 1 atau *Leg* 3 dapat diatur dalam *way point*.

Sumber: (Software IWRAP MK II v5.2.0., 2017)

Beberapa data lain yang juga harus dimasukkan dalam *software* ini diantaranya data *bathymetry* yang menyatakan kedalaman dari perairan yang akan dianalisis. IWRAP juga memfasilitasi masukan objek – objek tertentu yang berada di sekitar perairan yang akan dianalisis seperti jembatan, *platform* dan kapal – kapal kecil yang tidak melintas pada alur tetapi ada diperairan tersebut seperti kapal kayu nelayan atau kapal lain jika area pelayaran, frekuensi dan data kapal diketahui. Gambar 3.7. menunjukkan tampilan masukan data *bathymetry* dan objek – objek tertentu tersebut pada *software* IWRAP.



(a)



(b)

Gambar 3.7. (a) Data *bathymetry* yang menyatakan kedalam perairan yang akan dianalisis dan (b) Data traffic area yang menyatakan kapal-kapal kecil yang tidak melintas pada alur.

Sumber: (Software IWRAP MK II v5.2.0., 2017)

Hasil dari perhitungan IWRAP memetakan setiap nilai dari frekuensi tubrukan satu jenis kapal dengan kapal lain serta nilai total dari frekuensi tubrukan setiap jenis kapal terhadap seluruh kapal yang melintas pada alur tersebut untuk masing - masing model tubrukan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8. *Software* ini juga memungkinkan untuk mengetahui potensi paling berbahaya dari alur dengan nilai frekuensi tubrukan yang spesifik pada *Leg* atau *Way poin* tertentu seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9.

Ship-Ship Results - Model: 'Collision_3' Job: 'test_20'

Filter: No filter

Item	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Re-Ro cargo ship	Passenger ship	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Pk
Crude oil tanker													
Oil products tanker		4.43242e-05		6.02593e-05	0.00021798	5.56994e-05		5.48898e-05	9.18754e-06		1.44257e-05		
Chemical tanker													
Gas tanker		0.00011143			0.000333207	0.000143373		0.000148917	2.81206e-05		3.66147e-05		
Container ship		0.000161125		0.000109653	0.0002991327	0.000202672		0.000234879	3.33444e-05		5.25999e-05		
General cargo ship		6.62375e-05		8.93117e-05	0.000325824	8.32038e-05		9.67178e-05	1.37387e-05		2.15300e-05		
Bulk carrier													
Re-Ro cargo ship		4.99009e-05		6.94799e-05	0.000245028	6.27772e-05		7.273e-05	1.93244e-05		1.62977e-05		
Passenger ship		6.3219e-06		8.84206e-06	3.1028e-05	7.95358e-06		9.21033e-06	1.30726e-06		2.66691e-06		
Fast ferry													
Support ship		2.3995e-05		3.3017e-05	0.000113628	2.90127e-05		3.37295e-05	4.78968e-06		7.30888e-06		
Fishing ship													
Pleasure boat													
Other ship		6.9189e-05		9.2632e-05	0.000349302	8.6938e-05		0.00010099	1.43436e-05		2.2512e-05		
Sum		0.000511326		0.000461321	0.00239822	0.000671632		0.000761853	0.000107162		0.000173557		

Gambar 3.8. Nilai tubrukan untuk satu jenis kapal dengan kapal lain.

Sumber: (Software IWRAP MK II v5.2.0., 2017)

Ship-Ship Results - Model: 'Collision_3' Job: 'test_20'

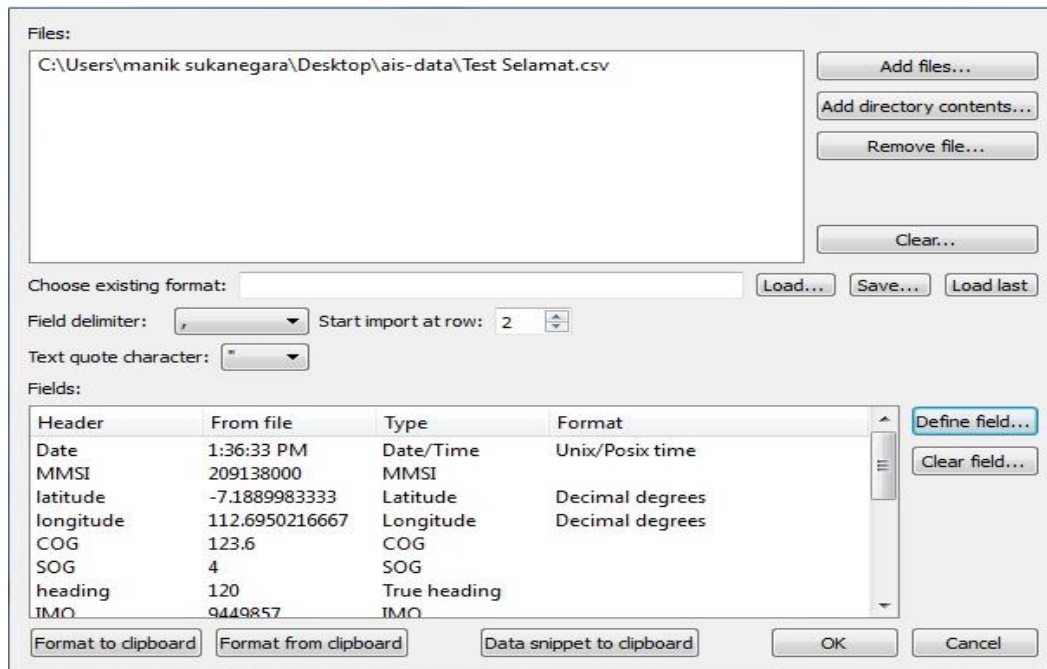
Filter: Waypoint: WAYPOINT_54

Item	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Re-Ro cargo ship	Passenger ship	Fast ferry	Support ship	Fishing ship	Pk
Crude oil tanker													
Oil products tanker				3.07174e-05									
Chemical tanker													
Gas tanker		4.27925e-05				5.88071e-05		4.98366e-05	6.10189e-06		1.37826e-05		
Container ship													
General cargo ship				4.53711e-05									
Bulk carrier													
Re-Ro cargo ship				3.54291e-05									
Passenger ship				4.50298e-06									
Fast ferry													
Support ship				1.56817e-05									
Fishing ship													
Pleasure boat													
Other ship				4.64334e-05									
Sum		4.27925e-05		9.000178116		5.88071e-05		4.98366e-05	6.10189e-06		1.37826e-05		

Gambar 3.9. Nilai tubrukan yang spesifik pada *Leg* atau *way point* dan model tubrukan tertentu

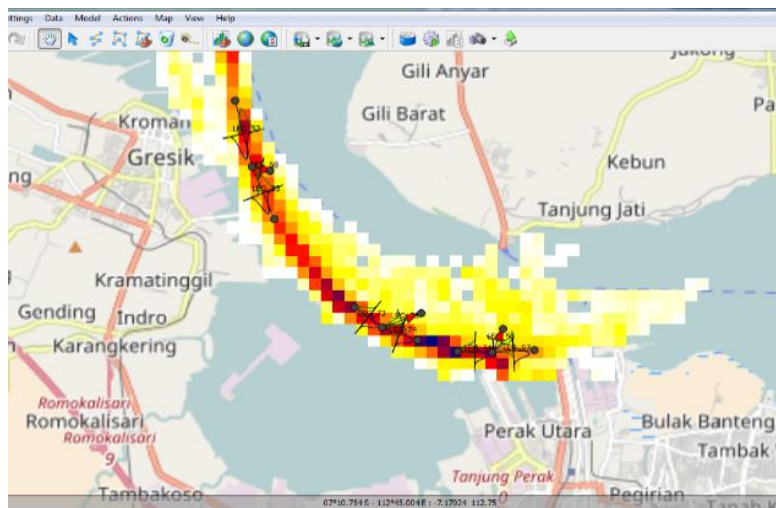
Sumber: (Software IWRAP MK II v5.2.0., 2017).

IWRAP juga memfasilitasi masukan data AIS untuk memvalidasi model yang dibuat. Data AIS akan memberi data *existing* yang spesifik terhadap alur dan kapal yang melintas pada model.



Gambar 3.10. Masukkan data AIS pada *software* IWRAP.

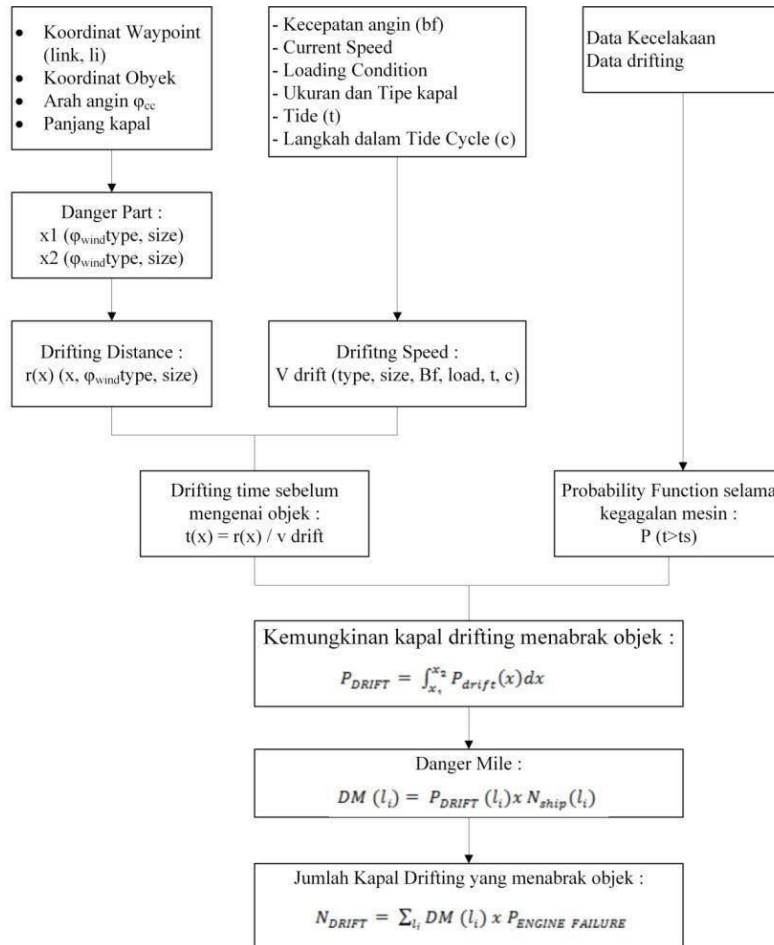
Sumber: (Software IWRAP MK II v5.2.0., 2017)



Gambar 3.11. Hasil masukan data AIS pada IWRAP.

Sumber: (Software IWRAP MK II v5.2.0., 2017)

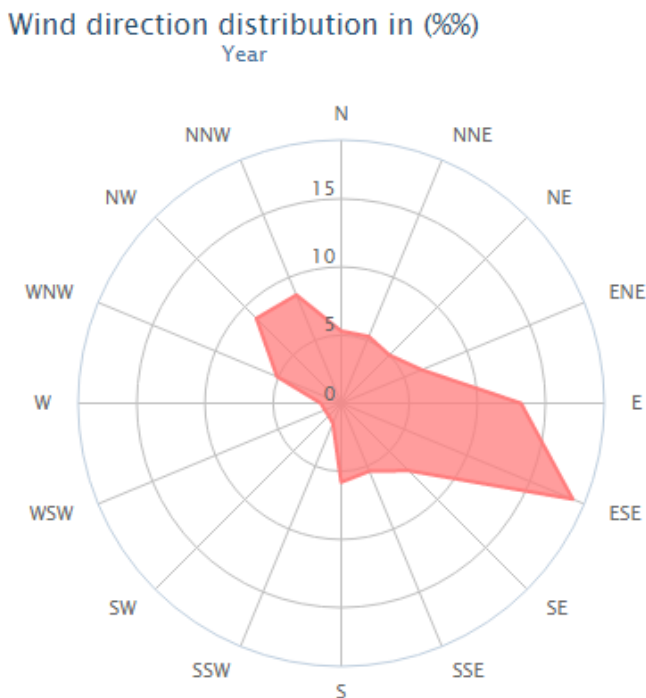
3.6 SAMSON *Crash Model*



Gambar 3.12. Flowchart pengerjaan SAMSON model.

Pada skenario ini objek diposisikan pada satu titik di area lego jangkar. Dari titik ini kemudian ditetapkan satu posisi berupa garis yang disebut *danger part* dimana posisi ini adalah posisi bahaya *drifting collision* dapat terjadi. *Danger part* merupakan fungsi dari panjang diagonal objek ditambah satu panjang kapal yang digunakan dalam analisis. Posisi *danger part* ditetapkan dimana jika kapal melintas pada posisi tersebut dan mengalami kegagalan motor penggerak utama, kapal dapat terseret arus dan angin menuju objek dalam hal ini kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer*.

Angin di wilayah perairan Tanjung Perak cenderung bertiup ke arah timur dan tenggara. Pada Bulan Desember sampai dengan Maret angin cenderung bertiup ke arah barat laut. Sementara pada bulan April sampai dengan Nopember, angin cenderung bertiup ke arah timur dan tenggara. Seperti tampak pada Gambar 4.11. dan Gambar 4.12. *danger part* ditetapkan berada di sebelah kiri dari objek dalam hal ini adalah kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer*. Berdasarkan data statistik, distribusi sebaran arah angin di perairan Tanjung Perak selama satu tahun adalah sebagai berikut.



Gambar 3.13. Distribusi arah angin di perairan Tanjung Perak selama satu tahun.

Sumber: (windfinder.com/windstatistics/surabaya_perak_li)

Arah angin yang digunakan pada skenario ini adalah arah angin dominan. Tampak pada Gambar 3.12. menunjukkan bahwa angin di Perairan Tanjung Perak dominan ke arah tenggara dengan frekuensi 18% pertahun. Sehingga ditetapkan *danger part* berada pada sebelah barat objek dengan kemiringan terhadap diagonal objek dalam rentang $90^0 - 135^0$. Kemiringan ini menyatakan arah angin berhembus dengan sudut pada rentang ini.

Dari posisi ini kemudian ditetapkan posisi link ada pada 2 kondisi. Posisi pertama dengan kondisi sejajar dengan diagonal objek. Posisi kedua dengan kondisi berpitingan dengan diagonal objek. Kondisi ini mempengaruhi nilai $r(x)$ antara objek dengan *danger part*. Pada posisi pertama, jarak dari objek ke *danger part* adalah sama yang dinyatakan dengan $r_1 = r_2 = r(x)$. Posisi kedua menyatakan $r(x)$ setiap titik pada *danger part* memiliki nilai yang berbeda. $r(x)$ pada kondisi ini data diketahui dengan persamaan (7). Sudut antara *danger part* dan diagonal objek pada posisi ini divariasikan yaitu 15^0 , 30^0 dan 45^0 .

V_{drift} menyatakan kecepatan *drifting* yang akan dialami kapal jika mengalami kegagalan motor penggerak utama kemudian terseret arus. Nilai ini menyatakan fungsi dari beberapa hal. V_b menyatakan kecepatan angin pada skala *Beaufort class b*. Angin di Perairan Tanjung Perak berhembus dengan kecepatan 12 knot atau sama dengan 6,17 m/s. Nilai ini setara dengan *Beaufort class b* skala 5. *Beaufort class b* skala 4 menunjukkan nilai R (*wave drift coefficient*) = 1. ζb menyatakan *significant wave*

amplitude yang diasumsikan dihasilkan untuk *Beaufort class b* skala 4 adalah 1,5 m. Nilai ini nilai maksimum dari rentang yang diberikan untuk *Beaufort class b* skala 4. T_{in} menyatakan sarat kapal i pada beban n . L_i menyatakan panjang kapal i . A_{Lin} menyatakan permukaan lateral udara pada kapal i saat kondisi berbeban n yang besarnya diasumsikan dengan mengalikan panjang kapal dengan tinggi lambung timbul ditambah luas bangunan atas tampak samping.

Dengan tambahan fungsi densitas udara, densitas air laut, percepatan gravitasi, koefisien permukaan lateral angin kapal dan koefisien gesekan lateral pada lambung yang tercelup air yang merupakan besaran umum dan telah diketahui nilainya maka nilai V_{drift} dapat ditentukan sesuai persamaan (9).

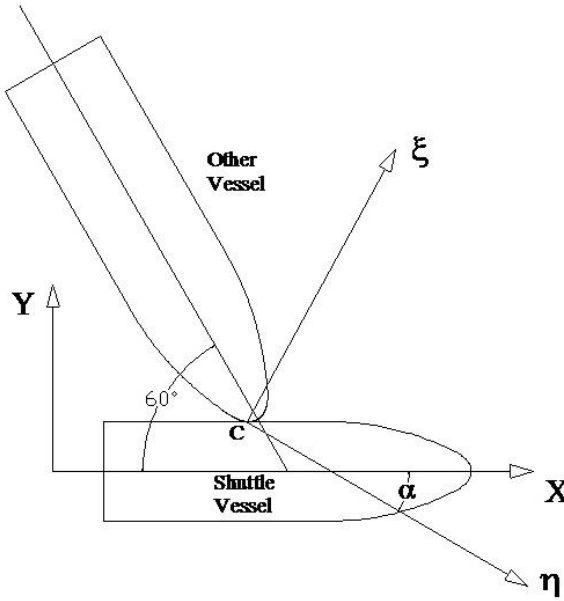
$t(x)$ menyatakan waktu yang dibutuhkan kapal untuk sampai pada objek saat *drifting* terjadi. Besar $t(x)$ diketahui dengan membagi jarak $r(x)$ dengan kecepatan yang dihasilkan kapal saat terseret arus (V_{drift}). Dari nilai $t(x)$ kemudian nilai $P_{EF}(t > ts)$ dapat ditentukan dimana jika waktu kapal gagal memperbaiki kegagalan motor penggeraknya kurang dari 0,25 jam maka $P_{EF}(t > ts) = 1$, jika waktu kapal gagal memperbaiki kegagalan motor penggeraknya lebih dari 0,25 jam maka $P_{EF}(t > ts)$ dapat dihitung menggunakan persamaan (4).

Agar kapal dapat mencapai objek seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, kapal harus berada pada beban, arah angin dan kecepatan angin tertentu yang dapat mengarahkan kapal menuju objek jika terseret arus ditengah laut. Dengan mengalikan peluang kapal berada pada kondisi yang sama yaitu arah angin, kecepatan angina, kondisi beban, *tide* dan *step in tide cycle* maka peluang kapal mengalami *drifting* ($P_{drift}(li, type, size, Bf)$) untuk kapal dengan panjang, tipe, ukuran dan *beaufort class* yang sama dapat diketahui.

Kapal melakukan *ship to ship transfer* diasumsikan dalam beberapa jam. Penulis mengasumsikan bahwa setidaknya akan ada satu kapal yang melintas di sebelah barat kapal yang melakukan *ship to ship transfer* setiap kali *ship to ship transfer* berlangsung. Dengan demikian maka dalam satu tahun frekuensi kapal – kapal tersebut lewat disebelah barat kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer* adalah 365 kali. Dengan mengalikan $P_{drift}(li, type, size, Bf)$, frekuensi kapal melintas pada *danger part* selama *ship to ship transfer* dan peluang kapal mengalami kegagalan motor penggerak pertahun, maka nilai N_{drift} dapat ditentukan.

3.6 Analisis Konsekuensi

Analisis konsekuensi bertujuan untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dari tubrukan kapal ditinjau dari energi kinetik yang harus dihadapi kapal saat tubrukan terjadi. Konsekuensi akan ditunjukkan dalam bentuk besarnya energi yang diterima *shuttle vessel* akibat di tubruk oleh kapal lain, baik dalam *crossing collision* maupun *drifting collision*.



Gambar 3.14. Konsekuensi dari tubrukan yang dianalisis.

Gambar 3.11. mengilustrasikan bagaimana tubrukan diasumsikan terjadi. Analisis dimulai dengan mengasumsikan koordinat terjadinya tubrukan pada satu titik (x_c, y_c) pada *shuttle vessel*. η menyatakan arah permukaan terdampak oleh *other vessel* terhadap *shuttle vessel*. α adalah sudut yang dibentuk oleh arah $-\eta$ terhadap sumbu x . ξ menyatakan arah permukaan terdampak oleh *shuttle vessel* terhadap *other vessel*. β adalah sudut yang dibentuk *centerline other vessel* terhadap *centerline shuttle vessel*. Persamaan energi yang diserap *shuttle vessel* dirumuskan sebagai berikut.

$$E_{\xi} = \frac{1}{2} \frac{1}{D_{\xi} \mu D_{\eta}} \dot{\xi}(0)^2$$

dengan:

$$D_{\xi} = \frac{D_{a\xi}}{M_a} + \frac{D_{b\xi}}{M_b}$$

$$D_{\eta} = \frac{D_{a\eta}}{M_a} + \frac{D_{b\eta}}{M_b}$$

$$\dot{\xi}(0) = V_{ax} \cos \alpha + V_{ay} \sin \alpha - V_{b1} \cos(\beta - \alpha) - V_{b2} \sin(\beta - \alpha)$$

Dimana:

$$D_{a\xi} = \frac{1}{1+m_{ax}} \sin^2 \alpha + \frac{1}{1+m_{ay}} \cos^2 \alpha + \frac{1}{1+j_a} \frac{[y_c \sin \alpha - (x_c - x_a) \cos \alpha]^2}{R_a^2}$$

$$\begin{aligned}
D_{a\eta} &= \frac{1}{1+m_{ax}} \sin \alpha \cos \alpha + \frac{1}{1+m_{ay}} \sin \alpha \cos \alpha + \\
&\quad \frac{1}{1+j_a} \frac{[y_c \sin \alpha - (x_c - x_a) \cos \alpha][y_c \cos \alpha - (x_c - x_a) \sin \alpha]}{R_b^2} \\
D_{b\xi} &= \frac{1}{1+m_{b1}} \sin^2(\beta - \alpha) + \frac{1}{1+m_{b2}} \cos^2(\beta - \alpha) + \frac{1}{1+j_b} \frac{[(y_c - y_b) \sin \alpha - (x_c - x_b) \cos \alpha]^2}{R_a^2} \\
D_{b\eta} &= \frac{1}{1+m_{b1}} \sin(\beta - \alpha) \cos(\beta - \alpha) + \frac{1}{1+m_{b2}} \sin(\beta - \alpha) \cos(\beta - \alpha) + \\
&\quad \frac{1}{1+j_b} \frac{[(y_c - y_b) \sin \alpha - (x_c - x_b) \cos \alpha][(y_c - y_b) \cos \alpha - (x_c - x_b) \sin \alpha]}{R_b^2}
\end{aligned}$$

Shuttle vessel akan bergerak relative terhadap kapal lain begtu juga sebaliknya. Namun dalam analisis ini hanya akan menggunakan satu sudut pandang dimana kapal lain bergerak relative terhadap *shuttle vessel*. M_a menyatakan berat dari kapal A yaitu kapal lain yang melintas dan berpapasan dengan *shuttle vessel*. M_b menyatakan berat *shuttle vessel*. Kapal *sample* yang diasumsikan akan melintas disekitar *shuttle vessel* saat *ship to ship transfer* berlangsung dan berpapasan dengan *shuttle vessel* saat akan kembali ke alur ditetapkan sejumlah 5 dengan panjang 87 m, 120 m, 142,7 m, 176 m dan 203,5 m. m_{ax} dan m_{b1} menyatakan koefisien massa dari *surge motion other vessel* dan *shuttle vessel* dengan range 0,02 – 0,07. m_{ay} dan m_{b2} menyatakan koefisien massa dari *sway motion other vessel* dan *shuttle vessel* dengan nilai 0,3 – 1,3. j_a dan j_b menyatakan koefisien massa dari *yaw motion other vessel* dan *shuttle vessel* dengan nilai 0,21. $(x_a, 0)$ menyatakan koordinat *center of grafity* dari *other vessel* sebagai *striking ship*. (x_b, y_b) menyatakan koordinat *center of grafity* dari *shuttle vessel* sebagai *struck ship*. R menyatakan radius dari inertia kapal yang dinyatakan sebagai $\frac{1}{4}$ dari panjang kapal.

Pada model *crossing collision*, *other vessel* akan melintas di alur dengan kecepatan V_{ax} dan *shuttle vessel* akan bergerak dengan kecepatan V_{b1} dari arah lain hingga pada satu titik tertentu merek bertemu di alur. Pada satu waktu di titik ini dua kapal ini dapat sampai pada waktu yang sama dan mengalami tubrukan. Saat tubrukan terjadi *other vessel* akan menerima energi dari *shuttle vessel* dan bergerak menyimpang dari posisi awalnya dengan kecepatan V_{ay} . Begitu juga dengan *shuttle vessel* akan menerima energi dari *other vessel* dan bergerak menyimpang dari posisi awalnya dengan kecepatan V_{b2} . Kedua kapal akan mengalami kecepatan relative terhadap tubrukan yang terjadi yang dinyatakan dengan $\dot{\xi}(0)$. Dengan mengasumsikan nilai *coefficient of friction* antara dua kapal adalah $\mu_0 = 0,6$, maka nilai E_{ξ} sudah dapat ditentukan.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Frekuensi tubrukan akan dihitung terhadap *shuttle vessel* yang akan melakukan *ship to ship transfer* dengan kapal lain yang melintas disekitarnya. Lokasi *ship to ship transfer* ditetapkan di lokasi lego jangkar di perairan Tanjung Perak Surabaya. Proses *ship to ship transfer* yang dimaksud adalah ketika *shuttle vessel* menyeberangi alur menuju lokasi lego jangkar untuk menghampiri *receiving vessel*, selama *ship to ship transfer* berlangsung hingga *shuttle vessel* kembali ke alur. Sehingga skenario tubrukan ditetapkan saat *shuttle vessel* akan kembali ke alur setelah *ship to ship transfer* selesai dengan model *crossing collision* dan selama *ship to ship transfer* berlangsung dengan model *drifting collision*.

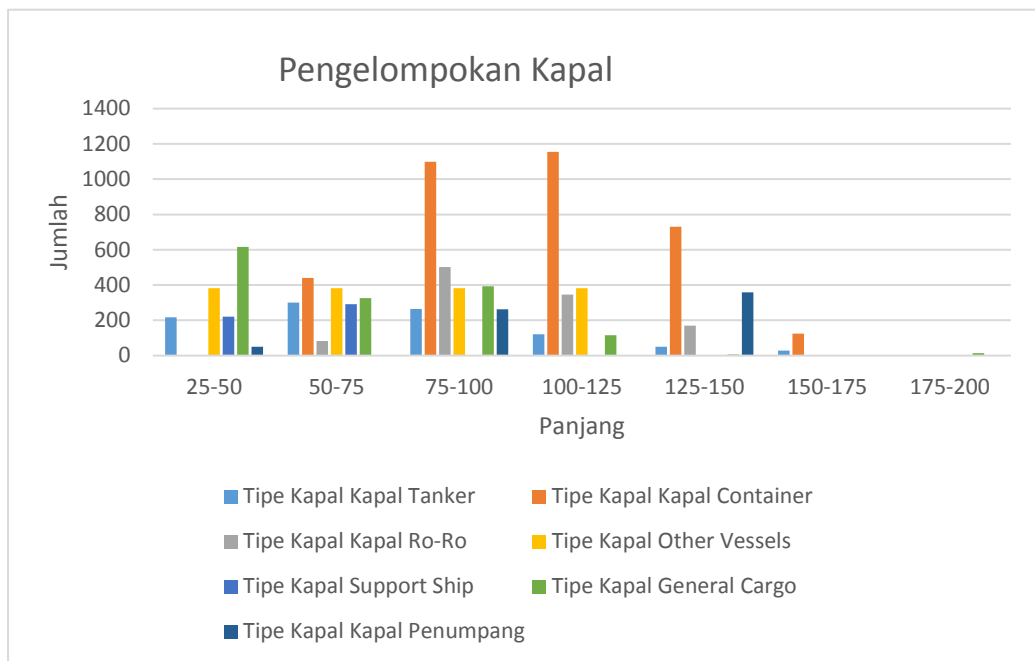
Crossing collision akan dihitung menggunakan metode IWRAP dalam beberapa skenario dimana posisi *shuttle vessel* saat memasuki alur akan divariasikan pada beberapa sudut masuk yaitu 30^0 , 45^0 dan 60^0 . *Crossing collision* akan terjadi pada *shuttle vessel* dengan kapal - kapal yang akan masuk ke dalam area lego jangkar, masuk pelabuhan dan keluar Pelabuhan Tanjung Perak. *Crossing collision* akan terjadi pada alur karena posisi alur yang berdekatan dengan lokasi lego jangkar.

Drifting collision akan dihitung menggunakan SAMSON Model dimana tubrukan diasumsikan terjadi antara *shuttle vessel* dan *receiving vessel* yang sedang melakukan *ship to ship transfer* dengan kapal – kapal yang akan memasuki area lego jangkar. Beberapa variasi yang dilakukan pada model ini adalah variasi jarak antara kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer* dengan kapal yang akan memasuki area lego jangkar serta sudut dari arah drifting kapal sesuai dengan arah angin di area Perairan Tanjung Perak.

4.2 Data

Data yang diperlukan dalam skripsi ini adalah data kapal yang keluar masuk Pelabuhan Tanjung Perak. Data yang dibutuhkan adalah jumlah kapal yang keluar masuk selama 1 tahun lengkap dengan tipe dan panjang masing masing kapal. Data ini kemudian akan dikelompokkan berdasarkan tipe kapal dan disetiap tipe kapal akan dikelompokkan lagi berdasarkan panjang kapal dengan *range* 25 m. Dengan metode IWRAP perhitungan frekuensi tubrukan dapat dilakukan secara global untuk seluruh kapal yang melintas pada alur dan dapat dilakukan secara spesifik untuk masing – masing jenis kapal.

Selain data statis yang dapat diperoleh dari beberapa instansi seperti Kantor Otoritas Pelabuhan Tanjung Perak dan Kantor Kesyahbandaran Utama Tanjung Perak, penulis juga membutuhkan data dinamis kapal selama berlayar di APBS. Data ini dapat diperoleh dari data AIS. Data dinamis berisi data koordinat kapal yang menyatakan posisi kapal selama bergerak di perairan Tanjung Perak. Dengan data AIS memungkinkan untuk mendapatkan data dinamis kapal secara *real time*. AIS mengirimkan data koordinat kapal setiap 6 detik sekali. Jumlah data AIS bergantung pada area kapal melintas selama kurun waktu tertentu dimana analisis akan dilakukan.



Gambar 4.1. Tabel Distribusi volume kapal yang keluar masuk Pelabuhan Tanjung Perak.

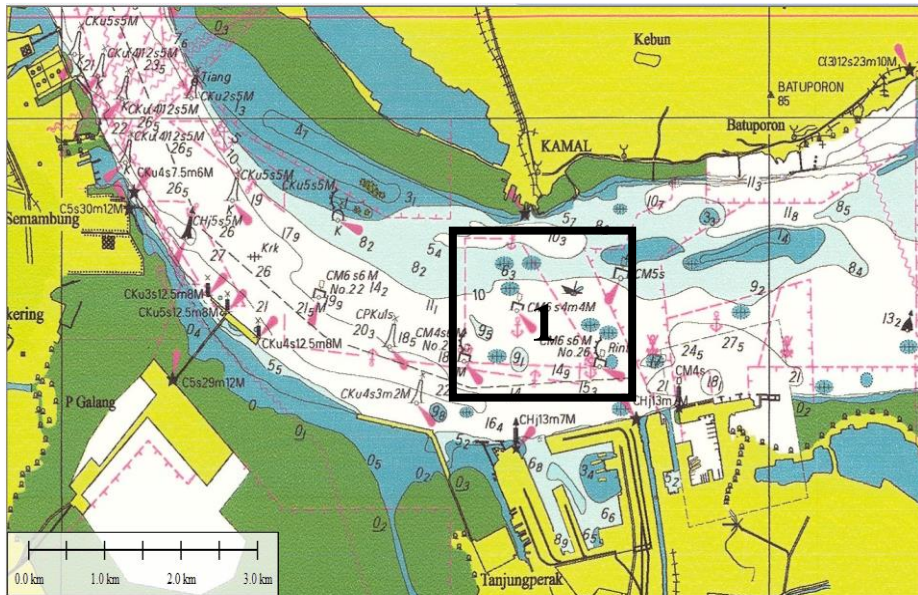
test1 - Notepad

File Edit Format View Help

Time	MMSI	latitude	longitude	COG	SOG	heading	IMO	Call Sign	Ship name	TypeofShipAndCargo	Size A	Size B	Size C	Size D	Draught
31-05-2015	17:00:30,0	-7.1768466667	112.690815	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:01:11,0	-7.1768583333	112.6908166667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:02:09,0	-7.1768583333	112.69081,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:02:27,0	-7.1768533333	112.6908066667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:02:39,0	-7.1768583333	112.69081,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:02:49,0	-7.1768466667	112.6908133333	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:03:08,0	-7.1768466667	112.6908166667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:03:28,0	-7.17685,112.6908116667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:03:38,0	-7.1768483333	112.69081,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:03:56,0	-7.176855,112.6908166667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:04:07,0	-7.176855,112.6908183333	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:04:28,0	-7.1768616667	112.690815,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:04:37,0	-7.1768583333	112.6908166667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:04:49,0	-7.1768633333	112.6908183333	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:04:56,0	-7.1768666667	112.6908166667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:10:37,0	-7.176855,112.6908066667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:10:38,0	-7.1768566667	112.6908016667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:10:38,0	-7.176855,112.6908333333	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:10:39,0	-7.17684,112.6908133333	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:10:47,0	-7.1768516667	112.6908266667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:10:48,0	-7.1768583333	112.6908016667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:10:48,0	-7.1768433333	112.6907966667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:10:49,0	-7.1768583333	112.69081,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:10:56,0	-7.1768583333	112.6908166667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:10:57,0	-7.1768466667	112.6908166667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:10:58,0	-7.176865,112.6908,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04							
31-05-2015	17:11:07,0	-7.1768433333	112.69081,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:11:07,0	-7.1768383333	112.6908233333	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:11:08,0	-7.1768633333	112.6907966667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:11:08,0	-7.1768583333	112.6908066667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:11:17,0	-7.176855,112.690795,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04							
31-05-2015	17:11:17,0	-7.17684,112.6908,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04							
31-05-2015	17:11:18,0	-7.1768483333	112.69083,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:11:18,0	-7.1768366667	112.6908083333	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:11:19,0	-7.1768416667	112.690815,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:11:27,0	-7.1768516667	112.690795,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:11:27,0	-7.1768516667	112.6908066667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:11:28,0	-7.1768516667	112.6907966667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:11:28,0	-7.1768433333	112.69081,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04						
31-05-2015	17:11:28,0	-7.1768383333	112.6908133333	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					
31-05-2015	17:12:09,0	-7.176835,112.690805,0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04							
31-05-2015	17:12:47,0	-7.1768433333	112.6907866667	0,0	511	7413440	ZAPF	Tofik	skilja	102,0,22,6,2,2,5,2,04					

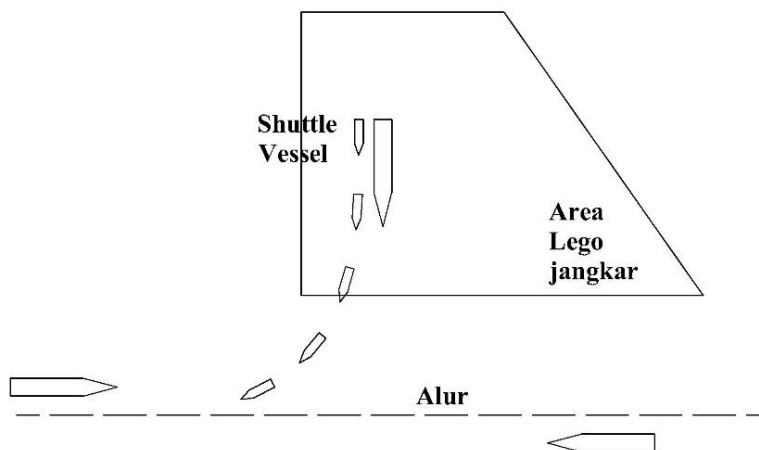
Gambar 4.2. Contoh data AIS dalam bentuk *text*.

4.3 Perhitungan Frekuensi *Crossing collision*



Gambar 4.3. Lokasi *ship to ship transfer* akan dilakukan.

Gambar 4.3. menyatakan posisi dimana *ship to ship transfer* akan dilakukan. Lokasi tersebut adalah lokasi lego jangkar kapal di perairan Tanjung Perak. Lokasi 1 merupakan lokasi *exist ship to ship transfer* telah biasa dilakukan yaitu transfer untuk bahan bakar minyak. Skenario tubrukan yang dipilih untuk lokasi ini adalah *crossing collision* dan *drifting collision*. Pada bagian ini akan dibahas mengenai *crossing collision* yang dapat terjadi ada lokasi ini.



Gambar 4.4. Skenario *crossing collision*.

Crossing collision seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.4. adalah kondisi saat *shuttle vessel* selesai melakukan *ship to ship transfer* dan akan kembali ke alur. Lokasi lego jangkar dengan alur yang cukup dekat memungkinkan terjadinya *crossing collision* saat *shuttle vessel* akan kembali ke alur dengan kapal – kapal yang akan keluar dari Tanjung Perak dan masuk ke Tanjung Perak. Model ini kan dihitung menggunakan metode dari IWRAP.

Model tubrukan dalam metode IWRAP dihitung sesuai persamaan (1). Seperti yang telah dijelaskan pada dasar teori N_G adalah *geometric number* yang mendefinisikan kandidat kapal yang akan mengalami tubrukan terhadap area dimana tubrukan mungkin terjadi sesuai dengan model dari masing masing tubrukan. P_C adalah *causation factor* yang menyatakan nilai dari besarnya peluang tubrukan yang dapat terjadi.

N_G dapat dihitung dengan persamaan (2). Q_i menyatakan frekuensi *shuttle vessel* di jalur I dalam 1 tahun. *Shutte vessel* diasumsikan menuju lokasi lego jangkar untuk melayani *bunkering* sebanyak satu kali dalam sehari. Ada 6 *shuttle vessel* yang akan melayani proses *bunkering*, maka selama satu tahun frekuensi *shuttle vessel* menuju ke lokasi lego jangkar adalah 2160 kali.

Q_j adalah frekuensi kapal di jalur j dalam 1 tahun yaitu frekuensi kapal yang keluar masuk Pelabuhan Tanjung Perak dan lokasi lego jangkar. Dari data yang diperoleh frekuensi kapal - kapal yang masuk ke Pelabuhan Tanjung Perak adalah sejumlah 6264. Jumlah ini telah dikurangi kapal – kapal kontainer karena lokasi pelabuhan kapal kontainer berada sebelum lokasi lego jangkar, sehingga kapal – kapal kontainer tidak menjadi kandidat tubrukan dalam skenario ini.

Nilai V_{ij} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $\sqrt{V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta}$. Nilai D_{ij} dapat dihitung menggunakan persamaan (3). Data – data kapal pada jalur J yang diperlukan untuk perhitungan menggunakan data rata - rata kapal yang melintas pada alur. Sebagai *sample* digunakan data kapal sebagai berikut.

Sample Vessel

Lwl	=	112,5	m
B	=	18	m
T	=	5,8	m
Vs	=	2,05578	m/s

Data rata – rata ini mungkin menjadi terlalu kasar untuk mewakili kelompok kapal yang melintas pada jalur i. Hasil perhitungan pada *software* dengan perhitungan manual ini akan memiliki hasil yang sedikit berbeda. Penulis tidak menghitung untuk setiap jenis kapal yang telah di *cluster* berdasarkan panjangnya karena proses perhitungan yang panjang dan memakan waktu. Disamping tidak memungkinkannya memperoleh data ukuran utama 6264 kapal untuk kemudian dirata – rata. Sehingga data *sample* diatas dirasa sudah cukup untuk menunjukkan bagaimana proses perhitungan manual dilakukan. Sudut tubrukan divariasikan dengan besar 30° , 45° , 60° . Sudut divariasikan sebagai bagian dari skenario. Dengan melakukan perhitungan sesuai data – data di atas, maka nilai perkiraan *crossing collision* diperoleh untuk setiap variasi sudut tubrukan adalah sebagai berikut:

Table 4.1. Hasil perhitungan frekuensi *crossing collision*.

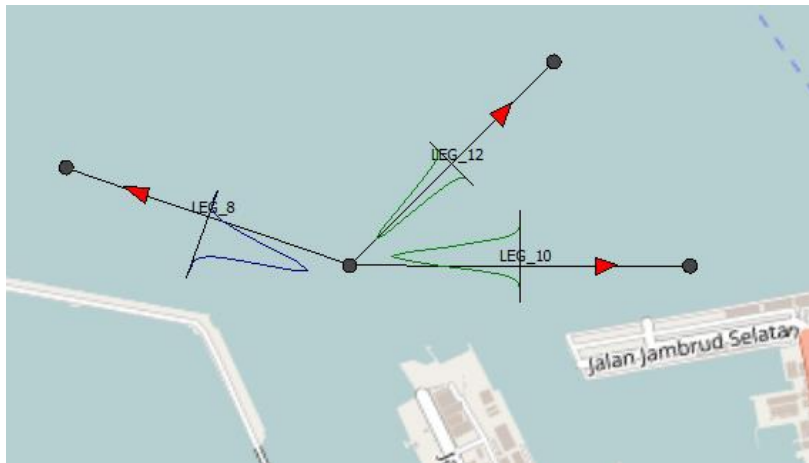
Data	Sudut Tubrukan		
	30 ⁰	45 ⁰	60 ⁰
L <i>shuttle vessel</i>	41,5	41,5	41,5
B <i>shuttle vessel</i>	10	10	10
L <i>sample vessel</i>	112,5	112,5	112,5
B <i>sample vessel</i>	18	18	18
Q _i	2190	2190	2190
Q _j	6264	6264	6264
V _i	3,087	3,087	3,087
V _j	2,055	2,055	2,055
D _{ij}	166,57	168,70	159,264254
V _{ij}	2,722	2,18	1,662489681
N _G	36,38	36,25	36,80218636
P _c	$1,08 \times 10^{-4}$	$1,08 \times 10^{-4}$	$1,08 \times 10^{-4}$
Frekuensi	0,00393	0,00391	0,003974636

Hasil perhitungan seperti tampak pada Tabel 4.1. menunjukkan bahwa semakin besar sudut tubrukan, maka frekuensi tubrukan *crossing collision* akan semakin besar. Nilai ini kemudian akan dibandingkan dengan hasil pada perhitungan *software* untuk dapat dianalisis.

4.2 Perhitungan Frekuensi dengan *Software* IWRAP

Software IWRAP adalah program yang dibuat untuk mempermudah perhitungan perkiraan frekuensi tubrukan dengan dasar perhitungan yang sama seperti pada bagian perhitungan manual. Beberapa parameter yang tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan manual seperti distribusi densitas dari alur dan data kedalam perairan akan mempengaruhi akurasi dari hasil perhitungan. Data densitas dari alur menggunakan masukan data dari AIS seperti tampak pada Gambar 4.2. Data AIS berupa data koordinat dari kapal selama melintas di APBS . Data ini kemudian diterjemahkan dalam bentuk *pixel – pixel* pada *software*. Kumpulan *pixel* ini kemudian akan membentuk alur dari kapal dengan warna – warna yang menyatakan posisi dominan kapal melintas. Semakin tua warna yang ditampilkan, semakin banyak kapal melintas pada posisi itu.

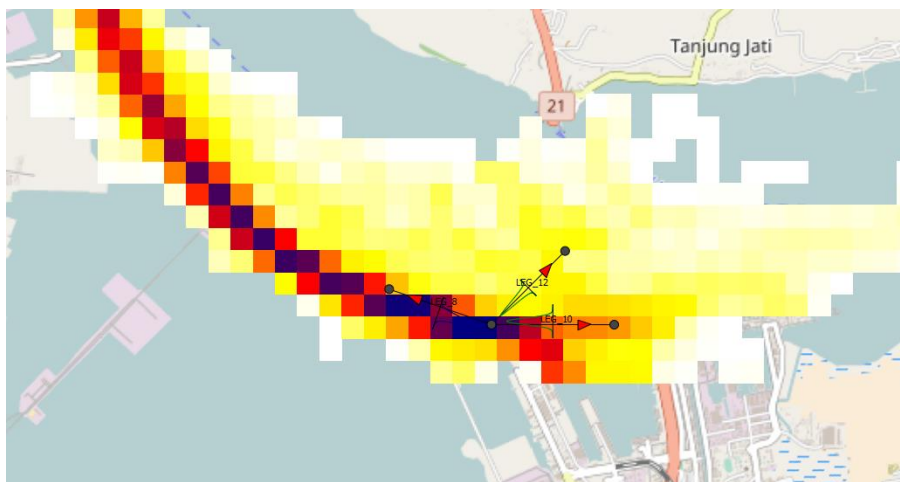
Analisis akan dimulai dengan memodelkan posisi dari perkiraan terjadinya tubrukan pada Perairan Tanjung Perak. Model akan merepresentasikan alur dari *shuttle vessel* saat akan kembali setelah melakukan *ship to ship transfer* ke alur pelayaran utama di Tanjung Perak seperti tampak pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Model alur pada *software IWRAP*.

Sumber: (Software IWRAP MK II, 2017)

Leg 12 menyatakan alur dari *shuttle vessel* saat akan kembali ke APBS setelah melakukan *ship to ship transfer*. *Leg 8* dan *10* merepresentasikan sebagian kecil dari APBS yang dilalui kapal untuk keluar masuk pelabuhan sebagai *sample* untuk analisis. Posisi *Leg* ditetapkan berdasarkan densitas alur yang diperoleh dari data AIS seperti tampak pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Densitas dari alur sebagai acuan dalam menentukan posisi *Leg*.

Sumber: (Software IWRAP MK II, 2017)

Frekuensi dari kapal keluar dan masuk pelabuhan diasumsikan sama yaitu masing-masing sejumlah 6264. Kapal yang masuk langsung menuju ke pelabuhan diasumsikan sebanyak 75% dari total kapal yang terdata dengan pertimbangan sebagian akan melakukan lego jangkar terlebih dahulu sebelum memasuki pelabuhan. Lebar *Leg 8* dan *10* adalah 150 m dengan asumsi kapal melintas pada bagian kiri dan kanan alur dengan

posisi normal pada 75 m dari tengah alur dan dapat terdeviasi sejauh 75 m dari posisi normal tersebut. Lebar alur dan desitas dalam alur akan berpengaruh pada frekuensi tubrukan yang dapat terjadi.

Perhitungan frekuensi pada *software* dilakukan untuk setiap jenis kapal yang telah dikelompokkan berdasarkan panjang kapal.

Data Item: Frequency		Traffic Volume Distribution: TD_134						
		Oil tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro
0-25	0	0	0	0	0	0	0	0
25-50	0	0	0	0	616	0	0	0
50-75	0	0	0	0	325	0	82	0
75-100	0	265	0	0	0	393	0	502
100-125	0	120	0	0	0	115	0	345
125-150	0	51	0	0	0	7	0	169
150-175	0	28	0	0	0	0	0	0
175-200	0	0	0	0	0	13	0	0
200-225	0	0	0	0	0	0	0	0
225-250	0	0	0	0	0	0	0	0
250-275	0	0	0	0	0	0	0	0
275-300	0	0	0	0	0	0	0	0
300-325	0	0	0	0	0	0	0	0
325-350	0	0	0	0	0	0	0	0
350-375	0	0	0	0	0	0	0	0
375-400	0	0	0	0	0	0	0	0

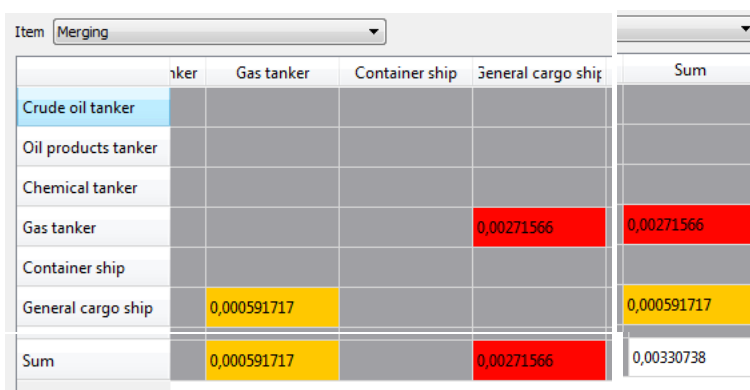
Gambar 4.7. Masukan data traffic volume pada *software*.

Sumber: (*Software IWRAP MK II*, 2017)

Pada Gambar 4.7. di atas dapat dilihat bahwa untuk setiap jenis kapal, frekuensi dari kapal melintas pada alur selama satu tahun telah dikelompokkan berdasarkan panjang kapal. Selain itu data kecepatan, panjang dan lebar kapal untuk setiap kelompok dapat masukkan satu per satu dengan nilai yang berbeda – beda. Dengan demikian perhitungan manual yang telah dilakukan pada bagian sebelumnya dilakukan lebih detail pada *software* ini. Nilai frekuensi pada setiap kelompok panjang akan dijumlah dan menghasilkan nilai frekuensi untuk setiap jenis kapal. Dengan perhitungan dilakukan untuk setiap kelompok kecil ini maka perhitungan pada *software* memiliki ketepatan yang lebih baik.

Karena masukan yang berbeda pada *software*, maka hasil yang didapat untuk perhitungan manual dan perhitungan pada *software* pasti akan berbeda. Sehingga sebelumnya *software* harus diberikan masukan data yang sama terlebih dahulu untuk mengetahui seberapa besar *error* yang sebenarnya dapat terjadi dari perhitungan manual dan *software*. Untuk model *Leg* yang sama dengan sudut tubrukan 45^0 , masukan data diberikan hanya pada *Leg* 10 dengan frekuensi kapal yang melintas sebanyak 6264 pada rentang panjang 100 m – 125 m. Rata – rata kecepatan kapal adalah 4 knot. Kapal

diasumsikan bergerak dari *Leg 10* ke *Leg 8* melalui *Way point 13*. *Shuttle vessel* diasumsikan bergerak dari *Leg 12* ke *Leg 8* yang juga melalui *Way point 13*. Hasil perhitungan frekuensi *crossing collision* dengan contoh ini adalah 0,0033078. Jika dibandingkan dengan perhitungan manual pada sudut yang sama, hasil frekuensi tubrukan yang diperoleh adalah 0,00391. Sehingga nilai *error* diperoleh terhadap perhitungan pada *software* adalah 18%. Penulis merasa nilai *error* ini masih cukup besar, hal ini disebabkan karena data lebar dan panjang yang merupakan fungsi pada perhitungan manual tidak dapat dimasukkan pada *software*. Nilai default yang digunakan *software* dan nilai yang diperkirakan penulis mungkin memiliki sedikit perbedaan sehingga nilai *error* masih cukup besar. Namun demikian, hasil ini sudah cukup menunjukkan bahwa *software* IWRAP sangat dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang lebih cepat dan teliti jika data yang diolah dalam jumlah besar.

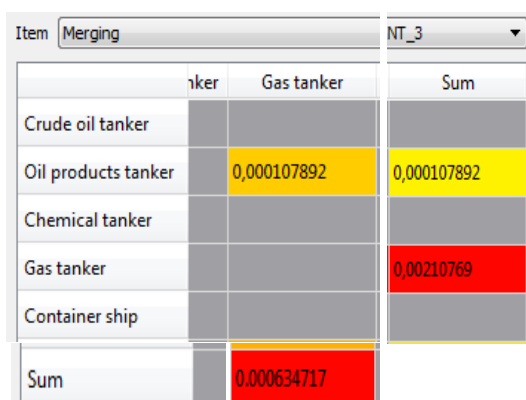


Item	Crude oil tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Sum
Crude oil tanker					
Oil products tanker					
Chemical tanker					
Gas tanker				0,00271566	0,00271566
Container ship					
General cargo ship		0,000591717			0,000591717
Sum		0,000591717		0,00271566	0,00330738

Gambar 4.8. Hasil perhitungan untuk validasi *software*.

Sumber: (*Software IWRAP MK II*, 2017)

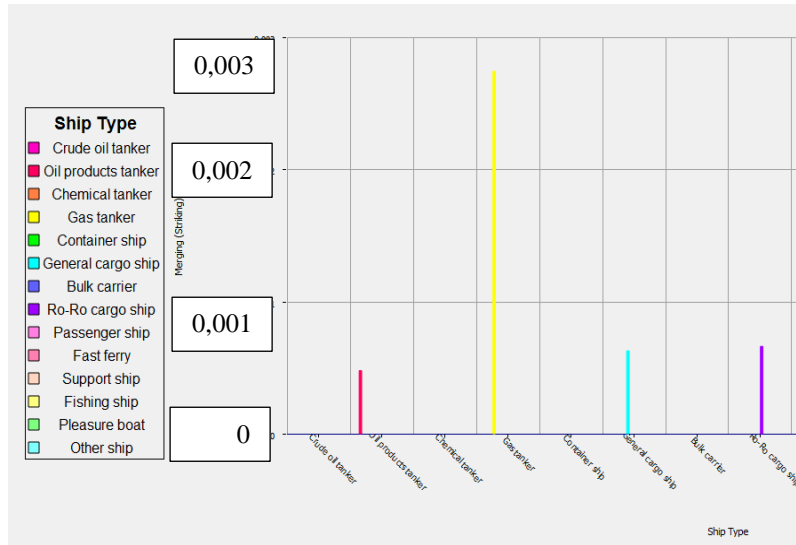
Hasil perhitungan frekuensi tubrukan terhadap *shuttle vessel* (gas tanker) untuk jumlah kapal masuk pelabuhan dengan asumsi 75% dan keluar 100% untuk sudut 45° adalah 0,0027.



Item	Crude oil tanker	Gas tanker	Sum
Crude oil tanker			
Oil products tanker		0,000107892	0,000107892
Chemical tanker			
Gas tanker			0,00210769
Container ship			
Sum		0,000634717	

Gambar 4.9. Prediksi frekuensi tubrukan *shuttle vessel* terhadap kapal yang melintas pada alur.

Sumber: (*Software IWRAP MK II*, 2017)



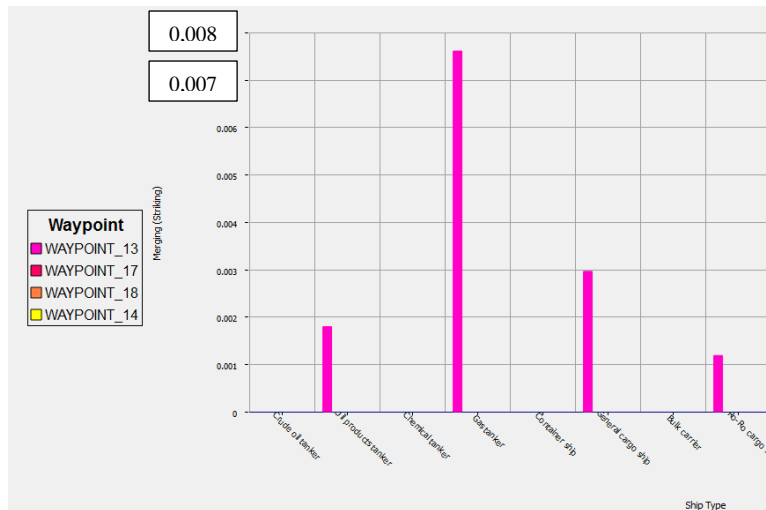
Gambar 4.10. Prediksi frekuensi tubrukan *shuttle vessel* terhadap kapal yang melintas pada alur dalam benuk grafik.

Hasil pada Gambar 4.10. menunjukkan frekuensi tubrukan kapal untuk kondisi kepadatan alur dengan data saat ini. Diasumsikan bahwa dimasa yang akan datang jumlah kapal akan terus mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan jumlah kebutuhan manusia. Selain peningkatan jumlah, peningkatan volume angkut kapal juga diprediksi akan terjadi. Sehingga kapal – kapal dimasa depan akan lebih panjang dari saat ini. Kemudian penulis memberikan suatu gambaran bagaimana pengaruh prediksi peningkatan jumlah kapal dan ukuran kapal ini terhadap prediksi frekuensi terjadinya *crossing collision*. Data yang telah ada dimodifikasi sebagai berikut.

Table 4.1. Nilai V_{drift} pada setiap kapal *sample*.

Panjang	Tipe Kapal						
	Kapal Tanker	Kapal Kontainer	Kapal Ro-Ro	Other vessel	Support Ship	General Cargo	Kapal Penumpang
25-50	500	-	-	500	500	500	500
50-75	500	-	500	500	500	500	-
75-100	500	-	500	500	-	500	500
100-125	500	-	500	500	-	500	-
125-150	500	-	500	-	-	500	500
150-175	500	-	-	-	-	-	-
175-200	-	-	-	-	-	500	500
200-225	-	-	-	-	-	500	500
225-250	-	-	-	-	-	500	-

Dari data *cluster* diatas kemudian perhitungan dilakukan pada *software* IWRAP dengan model yang sama. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut.



Gambar 4.11. Prediksi frekuensi tubrukan *crossing collision* di masa depan.

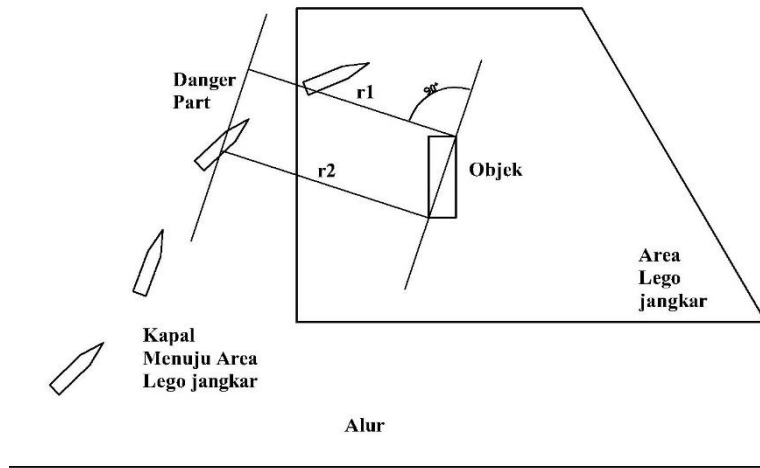
Gambar menunjukkan grafik prediksi frekuensi tubrukan jika data kapal menjadi seperti tampak pada Tabel 4.1. Frekuensi *crossing collision* jika frekuensi kapal menjadi 14500 kapal pertahun atau naik sekitar 2,5 kali dari frekuensi sekarang adalah 0,0076. Jika dilihat dari hasil perhitungan dengan data kondisi saat ini, frekuensi *crossing collision* adalah 0,21. Nilai ini meningkat hampir 3 kali lipat jika volume kapal meningkat seperti data pada Tabel 4.1. Namun hasil ini masih menunjukkan bahwa *crossing collision* tidak berisiko pada skenario ini.

4.3 Drifting collision

Pada skenario ini akan dihitung frekuensi kemungkinan terjadinya *drifting collision*. *Drifting collision* dapat terjadi jika kapal yang akan memasuki area lego jangkar kemudian mengalami kegagalan pada motor penggerak hingga berhenti di titik tertentu dimana kapal tersebut dapat terseret arus hingga menubruk kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer*. *Drifting collision* menjadi skenario yang menarik karena kapal memasuki area lego jangkar dengan jalur yang tidak diketahui. Penentuan posisi *danger part* dan frekuensi kapal yang mungkin melintas selama transfer berlangsung menjadi pertimbangan yang penting untuk mendapatkan hasil yang akurat dalam analisis skenario ini.

Ada 3 kondisi yang menjadi pertimbangan pada perhitungan model ini. Pertama objek dan *danger part* berada pada posisi sejajar, kedua objek dan *danger part* berada pada posisi berpotongan dan ketiga objek dan *danger part* berada pada posisi bersilangan. pada skenario ini, penulis hanya mempertimbangkan 2 kondisi yaitu posisi sejajar dan berpotongan. Posisi bersilangan tidak dipertimbangkan karena objek tidak berada di tengah alur.

4.3.1 Drifting collision dengan posisi sejajar



Gambar 4.12. Skenario tubrukan *drifting collision* posisi sejajar.

Pada kondisi pertama dimana objek dan *danger part* berada posisi sejajar seperti tampak pada Gambar 4.12. dimana sudut yang terbentuk antara bidang objek dengan *danger part* adalah 90° maka dapat diketahui nilai $r_1 = r_2 = r(x)$. Kemudian nilai $r(x)$ akan divariasikan mulai dari 100 m, 200 m, 300 m hingga 1000 m. Nilai ini akan menjadi ukuran jarak aman dari kapal lain yang akan memasuki area parkir untuk dapat lewat disekitar kapal yang melakukan *ship to ship transfer*. Telah diasumsikan bahwa kapal berada pada *danger part* dan angin yang berhembus akan menghanyutkan kapal menuju kepada objek dengan sudut *drifting* 17° . Kemudian besarnya V_{drift} dapat dihitung menggunakan persamaan (9) berikut:

$$V_{drift} = \sqrt{\frac{\rho_{air}}{\rho_w} \frac{A_{lin}}{L_i T_{in}} \frac{c_{dwind}}{c_d} v_b^2 + \frac{1}{8} \frac{\zeta_b^2 R^2}{T_{in} c_d}}$$

dengan:

V_{drift} : *drifting velocity* kapal i pada kondisi berbeban dengan angin dan gelombang mengikuti *Beaufort class b*

V_b : *wind velocity* untuk *Beaufort class b*

ρ_{air} : densitas udara

ρ_w : densitas air

A_{lin} : permukaan lateral udara pada kapal i saat kondisi berbeban n

L_i : panjang kapal i

T_{in} : sarat kapal i pada kondisi berbeban n

ζ_b : *significant wave amplitude* diasumsikan dihasilkan untuk *Beaufort class b*

c_{dwind} : koefisien permukaan lateral angin kapal

c_d : koefisien gesekan lateral pada lambung yang tercelup air

R : *wave drift coefficient*

g : *gravity constant*

SAMSON model menggunakan *Beaufort class b* sebagai skala besaran kecepatan angin dan gelombang. Skala Beaufort merupakan suatu ukuran yang berhubungan dengan kecepatan angin untuk pengamatan kondisi di darat atau di laut. Semakin besar nomor Beaufort, maka semakin kencang angin berhembus Berdasarkan data BMKG kecepatan angin tertinggi di wilayah Perairan Tanjung Perak adalah 12 knot. Nilai ini ekuivalen dengan *Beaufort class b* skala 4. Skala ini menunjukkan nilai *wave drift coefficient* = 1. Sehingga V_{drift} diperoleh sebagai berikut.

Table 4.2. Nilai V_{drift} pada setiap kapal *sample*.

Nama kapal	Mermerdelen	Tai Hang Shan	Lantau Bay	Hanjin Liverpool	White Kingdom
Panjang	87	120	142,7	176	203,5
Tinggi	7,1	14,3	11,2	15,6	22,32
Sarat	5,46	8,4	8,2	11	10,818
V_b	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17
A_{lin}	1582,68	2328	2138,1	2624,032	4320,657
ζ_b	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
R	1	1	1	1	1
V_{drift}	0,495	0,409	0,377	0,326	0,373

$t(x)$ menyatakan waktu kapal jika mengalami kegagalan motor penggerak kemudian terseret arus hingga mencapai objek dengan jarak $r(x)$ tertentu. Nilai $t(x)$ berbanding terbalik terhadap nilai $r(x)$ karena nilai V_{drift} tetap untuk semua variasi $r(x)$ Sesuai persamaan (5) dan nilai $r(x)$ yang divariasikan 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m dan 1000 m maka diperoleh berturut turun nilai $t(x)$ adalah sebagai berikut.

Table 4.3. Nilai $t(x)$ untuk masing – masing *sample* pada setiap variasi $r(x)$.

Nama kapal	V_{drift}	$t(x)$					
		$r(x) = 100m$	$r(x) = 200m$	$r(x) = 300m$	$r(x) = 400m$	$r(x) = 500m$	$r(x) = 1000m$
Mermerdelen	0,495	0,056	0,112	0,168	0,224	0,280	0,561
Tai Hang Shan	0,409	0,067	0,135	0,203	0,271	0,339	0,679
Lantau Bay	0,377	0,073	0,147	0,221	0,294	0,368	0,736
Hanjin Liverpool	0,326	0,085	0,170	0,255	0,340	0,426	0,852
White Kingdom	0,373	0,074	0,148	0,223	0,297	0,372	0,744

Dari nilai $t(x)$ kemudian nilai $P_{EF} (t > ts)$ dapat ditentukan dimana jika waktu kapal gagal memperbaiki motor penggerak utamanya kurang dari 0,25 jam maka $P_{EF} (t > ts) =$

1, jika waktu kapal gagal memperbaiki motor penggerak utamanya lebih dari 0,25 jam maka $P_{EF}(t > t_s)$ dapat dihitung menggunakan persamaan (4). Sehingga nilai $P_{EF}(t > t_s)$ dengan variasi $r(x)$ pada setiap *sample* kapal ditunjukkan pada Table 4.4.

Table 4.4. Nilai $P_{EF}(t > t_s)$ untuk masing – masing *sample* pada setiap variasi $r(x)$.

Nama kapal	V_{drift}	$P_{EF}(t > t_s)$				
		$r(x) = 100m$	$r(x) = 200m$	$r(x) = 300m$	$r(x) = 400m$	$r(x) = 500m$
Mermerdelen	0,495	1	1	1	1	0,956
Tai Hang Shan	0,409	1	1	1	0,968	0,881
Lantau Bay	0,377	1	1	1	0,937	0,849
Hanjin Liverpool	0,326	1	1	0,99	0,880	0,791
White Kingdom	0,373	1	1	1	0,932	0,844

Angin di wilayah perairan Tanjung Perak cenderung bertiup ke arah timur dan tenggara. Pada bulan Desember sampai dengan Maret angin cenderung bertiup ke arah barat laut. Sementara pada bulan April sampai dengan Nopember, angin cenderung bertiup ke arah timur dan tenggara. Arah angin dominan dalam satu tahun berhembus kearah tenggara dengan frekuensi 18% pertahun.

Sehingga ditetapkan nilai peluang kapal berada pada kondisi arah angin, kecepatan angin, beban kapal dan gelombang yang sama dimana kondisi tersebut menyebabkan kapal dapat menubruk objek saat mengalami kegagalan motor penggerak berturut turut sebesar 0,18; 1 dan 1.

Waktu *shuttle vessel* melakukan *ship to ship transfer* diasumsikan berlangsung selama beberapa jam. Penulis mengasumsikan bahwa setidaknya akan ada satu kapal yang melintas di sebelah barat kapal dan melalui *danger part* saat *ship to ship transfer* berlangsung. Dengan demikian maka dalam satu tahun frekuensi kapal – kapal tersebut lewat pada *danger part* disebelah barat kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer* adalah 365 kali.

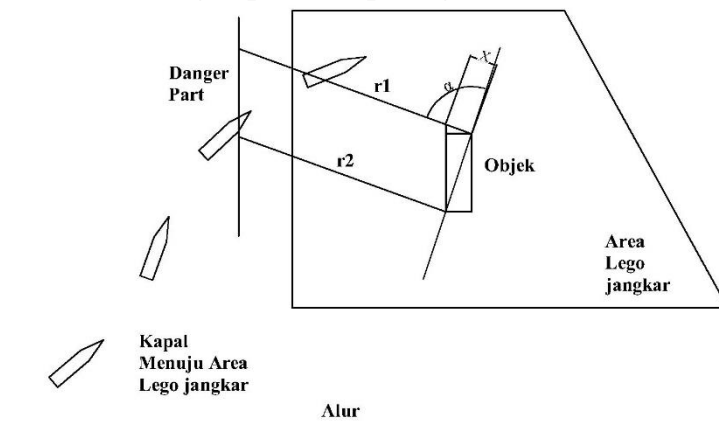
Peluang kegagalan motor penggerak utama selama satu tahun kapal beroperasi adalah 0,023. Kapal berada pada *danger part* hanya dalam beberapa waktu tertentu. Penulis mengasumsikan kapal bergerak dengan kecepatan 6 knot saat berada di dekat pelabuhan dan saat akan memasuki area lego jangkar. Dengan panjang *danger part* telah ditentukan adalah 204 m, maka dalam 1 hari jika kapal melintas di posisi tersebut kapal akan berada selama 0,018 jam pada *danger part*. Jika dalam 1 tahun kapal melintas pada *danger part* setiap hari, maka kapal akan berada di sana selama 6,8 jam. Jika kapal diasumsikan selama satu tahun beroperasi 6000 jam, maka peluang kapal berada pada *danger part* adalah 0,001. Sehingga peluang kapal gagal saat berada di *danger part* selama satu tahun adalah $2,3 \times 10^{-5}$. Kemudian nilai N_{drift} dapat ditentukan sebagai berikut.

Table 4.5. Nilai N_{drift} untuk setiap $r(x)$ pada setiap *sample*.

Nama kapal	V_{drift}	N_{drift}				
		$r(x) = 100m$	$r(x) = 200m$	$r(x) = 300m$	$r(x) = 400m$	$r(x) = 500m$
Mermerdelen	0,495	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Tai Hang Shan	0,409	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Lantau Bay	0,377	0,0015	0,0015	0,0015	0,0014	0,0013
Hanjin Liverpool	0,326	0,0015	0,0015	0,0015	0,0013	0,0012
White Kingdom	0,373	0,0015	0,0015	0,0015	0,0014	0,0013

Hasil pada Tabel (4.5.) di atas menunjukkan bahwa *drifting collision* tidak berisiko saat *shuttle vessel* melakukan *ship to ship transfer* dan diwaktu yang sama kapal – kapal lain memasuki area lego jangkar. Dalam satu hari, *bunkering* bahan bakar akan dilakukan beberapa. Ada 6 *shuttle vessel* yang akan melayani setidaknya 21 kapal setiap hari. Maka mungkin akan ada lebih banyak kapal yang melintas pada *danger part* selama *ship to ship transfer* berangsung. Namun demikian, jika volume meningkat hingga 10 kali lipat, frekuensi *drifting collision* masih dapat diterima, yaitu 0,015. Dari perhitungan diatas juga dapat disimpulkan bahwa pada dasarnya kapal – kapal lain dapat melintas dengan aman disekitar kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer*.

4.3.2 Drifting collision dengan posisi berpotongan

Gambar 4.13. Skenario tubrukan *drifting collision* posisi berpotongan.

Pada kondisi kedua, objek dan alur berada pada posisi berpotongan. Kondisi ini menyebabkan nilai $r_1 \neq r_2 \neq r(x)$. Sehingga $r(x)$ disepanjang *danger part* akan memiliki perkiraan frekuensi masing – masing kandidat kapal yang mungkin menubruk objek dari *danger part* karena nilai $r(x)$ yang berbeda – beda. Pertama – tama terdapat 2 hal yang

akan diasumsikan yaitu panjang r_2 dan sudut *drifting* kapal. Perbedaan panjang r_1 dan r_2 adalah sepanjang x seperti tampak pada Gambar 4.13. Sehingga dapat diketahui bahwa panjang $r_2 = x'$. Jika sudut α diketahui, maka x dapat dicari dengan menggunakan aturan cosinus segitiga siku – siku. Nilai r_1 dapat diketahui dengan menjumlahkan x dengan x' . Sudut α akan divariasikan dengan nilai 15° , 30° dan 45° . Kemudian r_2 akan divariasikan yaitu 100 m, 200 m, 300 m, 400m dan 500 m. Kapal yang digunakan adalah kapal dengan panjang 87 m. Pertimbangan ini diambil sesuai dengan hasil pada perhitungan sebelumnya dimana kapal dengan panjang >120 m memiliki risiko terbesar untuk terjadinya *drifting collision*. Nilai r yang akan ditentukan adalah nilai r_1 , r_2 dan r_{50} untuk setiap variasi. Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

Table 4.6. Nilai $r(x)$ untuk masing masing variasi sudut *drifting*.

r2	15°			30°			45°		
	r2	r1	r(50)	r2	r1	r(50)	r2	r1	r(50)
100	100	131,05	114,87	100	134,64	116,5	100	142,42	120,31
200	200	231,05	214,87	200	234,64	216,59	200	242,42	220,31
300	300	331,05	314,87	300	334,64	316,59	300	342,42	320,31
400	400	431,05	414,87	400	434,64	416,59	400	442,42	420,31
500	500	531,05	514,87	500	534,64	516,59	500	542,42	520,31

Dengan menggunakan nilai V_{drift} yang sama seperti pada perhitungan posisi sejajar yaitu 0,42 m/s maka nilai $t(x)$ dan $P_{EF}(t > t_s)$ ditentukan sebagai berikut:

Table 4.7. $t(x)$ untuk $r_2 = 100$ m.

	15°			30°			45°		
	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$
V_{drift}	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
$t(x)$	0,058	0,076	0,066	0,058	0,078	0,067	0,058	0,082	0,07

Table 4.8. $t(x)$ untuk $r_2 = 200$ m.

	15°			30°			45°		
	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$
V_{drift}	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
$t(x)$	0,116	0,134	0,125	0,116	0,136	0,126	0,116	0,141	0,128

Table 4.9. $t(x)$ untuk $r_2 = 300$ m.

	15°			30°			45°		
	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$
V_{drift}	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
$t(x)$	0,174	0,192	0,183	0,174	0,194	0,184	0,174	0,199	0,186

Table 4.10. $t(x)$ untuk $r_2 = 400$ m.

	15°			30°			45°		
	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$
V_{drift}	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
$t(x)$	0,233	0,251	0,241	0,233	0,253	0,242	0,233	0,257	0,244

Table 4.11. $t(x)$ untuk $r_2 = 500$ m.

	15°			30°			45°		
	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$
V_{drift}	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
$t(x)$	0,291	0,309	0,299	0,291	0,311	0,3	0,291	0,316	0,303

Sama seperti pada perhitungan posisi sejajar, kemudian nilai $P_{EF}(t > ts)$ dapat ditentukan. Jika dilihat pada hasil perhitungan $t(x)$ untuk r_2 dengan panjang 100 m, 200 m dan 300 m diperoleh $P_{EF}(t > ts) = 1$, untuk r_2 dengan panjang 400 m dan 500 nilai $P_{EF}(t > ts)$ akan ditunjukkan pada table berikut.

Table 4.12. $P_{EF}(t > ts)$ untuk $r_2 = 400$ m.

	15°			30°			45°		
	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$
V_{drift}	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
$t(x)$	0,233	0,251	0,241	0,233	0,253	0,242	0,233	0,257	0,244
$P_{EF}(t > ts)$	1	0,998	1	1	0,995	1	1	0,988	1

Table 4.13. $P_{EF}(t > ts)$ untuk $r_2 = 500$ m.

	15°			30°			45°		
	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$	r_2	r_1	$r(50)$
V_{drift}	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
$t(x)$	0,291	0,309	0,299	0,291	0,311	0,3	0,291	0,316	0,303
$P_{EF}(t > ts)$	0,941	0,918	0,93	0,941	0,915	0,928	0,941	0,909	0,926

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai $P_{EF}(t > ts)$ tidak mengalami perubahan yang signifikan pada masing – masing variasi dengan $r(x)$ yang berbeda – beda. Sehingga berikutnya untuk menghitung nilai $N_{drift}(type, size)$ akan digunakan nilai $r(x)$ dengan jarak terdekat dengan objek untuk setiap variasi.

Peluang kapal berada pada kondisi arah angin, kecepatan angin, beban kapal tertentu dan gelombang tertentu yang diinginkan agar dapat menubruk objek yang besarnya berturut turut adalah 0,18 , 1 dan 1. Kemudian diasumsikan juga bahwa setidaknya akan

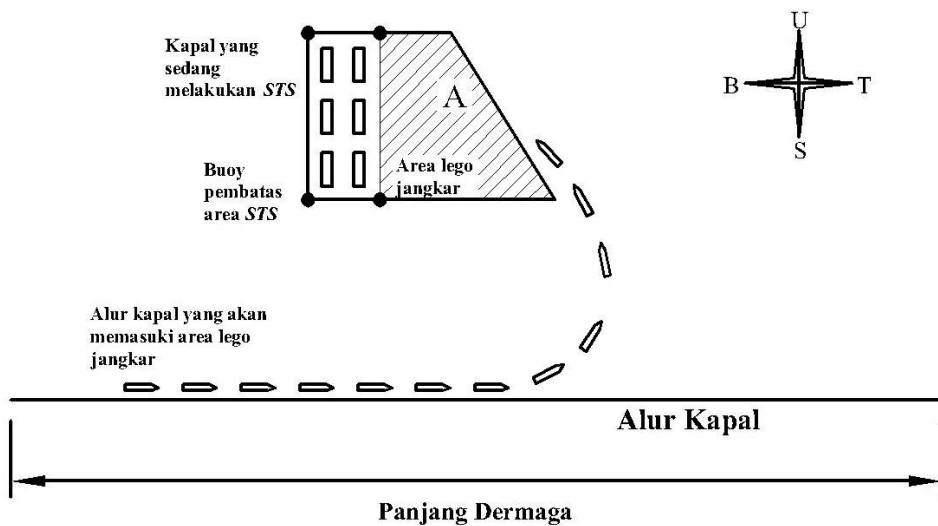
ada satu kapal yang melintas di sebelah barat kapal yang melakukan *ship to ship transfer* setiap kali *ship to ship transfer* berlangsung. N_{drift} dapat ditentukan sebagai berikut.

Table 4.14. N_{drift} untuk $r(x)$ terpendek dari setiap variasi.

	15°				
	r_2 100 m	r_2 200 m	r_2 300 m	r_2 400 m	r_2 500 m
$P_{EF}(t > ts)$	1	1	1	1	0,89
$P_{\phi wind}$	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
P_{load}	1	1	1	1	1
$P_{c,t}$	1	1	1	1	1
P_{drift}	0,5	0,5	0,5	0,48	0,43
N	365	365	365	365	365
DM	1553,5	1553,5	1553,5	1492,3	1356,7
P_{EF}	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$
N_{drift}	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0014

Nilai N_{drift} tidak dihitung untuk semua variasi sudut karena untuk semua nilai r_2 pada setiap variasi memiliki nilai $P_{EF}(t > ts)$ yang sama sehingga pada Tabel 4.14. ditampilkan hanya nilai N_{drift} pada sudut 15° saja. Hasil perhitungan pada Tabel 4.14. menunjukkan bahwa *drifting collision* tidak berisiko pada skenario ini. Sama seperti pada *drifting collision* dengan posisi sejajar.

4.3.3 Rekomendasi Kapal Memasuki Area Lego Jangkar Selama Transfer Berlangsung



Gambar 4.14. Rekomendasi kapal memasuki area lego jangkar selama transfer berlangsung.

Pada dasarnya kapal – kapal lain dapat memasuki area lego jangkar dengan aman selama proses *ship to ship transfer*. Namun demikian, *shuttle vessel* merupakan kapal dengan muatan khusus yang jika mengalami kecelakaan dapat mengakibatkan dampak yang serius. Maka dari itu penulis merekomendasikan lokasi dimana *ship to ship transfer* dapat dilakukan di area lego jangkar.

Di Perairan Tanjung Perak angin dominan bertiup ke arah timur dan tenggara, kapal yang akan melakukan *ship to ship transfer* akan melakukan *bunkering* di bagian barat dari area lego. Dengan demikian kapal yang akan memasuki area lego akan melintas di bagian selatan area lego dan mengisi bagian timur dari area lego seperti tampak pada Gambar 4.14. Area transfer akan dibatasi dengan *bouy* sebagai tanda bahwa area tersebut adalah area khusus. Hal ini mempertimbangkan peluang angin bertiup ke arah barat sampai utara di Perairan Tanjung Perak adalah 8%, sehingga kemungkinan terjadi *drifting collision* akan menjadi semakin kecil. Disamping itu juga, dengan kapal melakukan lego di bagian timur area lego dapat mengurangi kemungkinan kapal terseret ke arah kapal yang sedang melakukan transfer karena angin yang dominan bertiup ke arah timur dan tenggara.

4.4 Konsekuensi Tubrukan

Dalam tulisan ini konsekuensi tubrukan 2 kapal akan ditunjukkan dalam besarnya energi yang diterima oleh *shuttle vessel*. Titik tubrukan diasumsikan terjadi pada *midship shuttle vessel* baik pada skenario *crossing collision* maupun *drifting collision*. Pada *crossing collision* kedua kapal berada pada kondisi bergerak. Diasumsikan bahwa kapal yang melintas dialur yang akan menabrak *shuttle vessel* yang kembali ke alur setelah *ship to ship transfer* selesai. Pada skenario *drifting collision*, kapal yang melintas di sekitar *shuttle vessel* yang sedang melakukan transfer akan terseret arus kemudian menabrak *shuttle vessel*.

Sudut β divariasikan sesuai dengan model tubrukan yang telah dibuat sebelumnya. Untuk *crossing collision* sudut β divariasikan yaitu 30° , 45° dan 60° . Untuk *drifting collision* dengan posisi sejajar sudut β diasumsikan pada satu nilai yaitu 17° . Sedangkan untuk posisi berpotongan sudut β divariasikan yaitu 30° , 45° dan 60° .

Kecepatan kapal pada model *drifting collision* untuk *shuttle vessel* telah ditetapkan sebelumnya yaitu 6 knot dan untuk kapal lain ditetapkan 5 knot untuk semua *sample*. Asumsi kecepatan ini mempertimbangkan posisi kapal dimana kapal memasuki area pelabuhan yang padat sehingga harus bergerak dalam kecepatan rendah. Untuk model *drifting collision* kecepatan kapal *drift* akan digunakan pada asumsi kecepatan *drift* tertinggi yaitu 3 knot.

Sesuai persamaan (13) sampai persamaan (21) berikut adalah besarnya energi yang diserap oleh *shuttle vessel* dan besarnya penetrasi yang ditimbulkan pada lambung *shuttle vessel*.

Table 4.15. Nilai E_{ξ} untuk *crossing collision*.

Striking Vessel	α	R_a	L_a	M_a	E_{ξ}		
					$\beta = 30^{\circ}$	$\beta = 45^{\circ}$	$\beta = 60^{\circ}$
Mermerdelen	30°	21,75	87	6183	18,20	8,90	5,86
Tai Hang Shan	30°	30	120	17957	20,13	9,61	6,25
Lantau Bay	30°	35,675	142,7	19509	19,62	9,54	6,23
Hanjin Liverpool	30°	44	176	48918	21,13	9,99	6,46
White Kingdom	30°	50,875	203,5	73852	21,48	10,10	6,52

Table 4.16. Nilai E_{ξ} untuk *drifting collision* posisi sejajar dan bersilangan.

Striking Vessel	α	R_a	L_a	M_a	E_{ξ}			
					$\beta = 30^{\circ}$	$\beta = 45^{\circ}$	$\beta = 53^{\circ}$	$\beta = 60^{\circ}$
Mermerdelen	30°	21,75	87	6183	36,98	18,12	9,12	11,94
Tai Hang Shan	30°	30	120	17957	41,08	19,62	9,65	12,76
Lantau Bay	30°	35,675	142,7	19509	40,04	19,47	9,60	12,72
Hanjin Liverpool	30°	44	176	48918	43,14	20,39	9,92	13,19
White Kingdom	30°	50,875	203,5	73852	43,84	20,62	10,00	13,31

Dari hasil perhitungan energi yang diterima *shuttle vessel* akibat di tubruk kapal lain pada Table (4.15) dan Tabel (4.16) dapat dilihat bahwa besarnya energi yang diserap kapal saat tubrukan bergantung pada massa kapal, panjang dan kecepatan kapal. Semakin besar berat dan kecepatan kapal maka semakin besar pula dampak yang dapat ditimbulkan terhadap kapal lain jika terjadi tubrukan.

Dari hasil di atas juga menunjukkan bahwa besarnya nilai E_{ξ} bergantung pada sudut terjadinya tubrukan. Semakin landai sudut tubrukan, maka semakin kecil pula nilai E_{ξ} yang dihasilkan. Kondisi kapal juga sangat mempengaruhi besarnya nilai E_{ξ} . Hal ini dapat dilihat dari skenario tubrukan yang ditetapkan. Pada skenario *drifting collision*, nilai E_{ξ} mencapai 2 kali lipat nilai E_{ξ} pada *crossing collision*. Hal ini disebabkan karena kondisi *shuttle vessel* pada *drifting collision* pada posisi diam, sehingga energi yang ditimbulkkan kapal lain saat tubrukan akan diterima sepenuhnya oleh *shuttle vessel*. Sementara saat kedua kapal bergerak, satu sama lain akan saling menerima energi saat tubrukan terjadi.

Energi yang diserap *shuttle vessel* dari hasil diatas kemudian dapat dikategorikan sebagai berikut:

- 0 sampai 30 MJ: *minor damage* untuk objek
- 30 sampai 100 MJ: *moderate damage* untuk objek

- 100 sampai 200 MJ: *heavy damage* untuk objek
- <200 MJ : *catastrophic loss* untuk objek

Table 4.17. Kategori energi yang diterima *shuttle vessel* pada *crossing collision*.

E_z		
$\beta = 30^\circ$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 60^\circ$
<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>
<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>
<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>
<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>
<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>

Table 4.18. Energi yang diterima *shuttle vessel* pada *drifting collision*.

E_z			
$\beta = 30^\circ$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 53^\circ$	$\beta = 60^\circ$
<i>Moderate damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>
<i>Moderate damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>
<i>Moderate damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>
<i>Moderate damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>
<i>Moderate damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>	<i>Minor damage</i>

Dari hasil pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 dapat dikatakan bahwa *shuttle vessel* hanya mengalami *minor damage* hampir di semua sudut tubrukan baik pada skenario *drifting* maupun *crossing collision*. Hanya tubrukan *drifting collision* pada sudut 30° yang memberi dampak *moderate damage* pada kapal. Namun demikian kategori ini tidak menunjukkan kondisi kapal secara fisik. Kondisi fisik dapat ditunjukkan dengan memodelkan tubrukan yang terjadi menggunakan *software*. Dalam tulisan ini hal tersebut tidak dilakukan. Untuk sedikit menggambarkan kondisi kapal, maka penulis menghitung besarnya penetrasi yang ditimbulkan akibat dari energi yg diterima oleh *shuttle vessel* tersebut. Besarnya penetrasi untuk setiap skenario pada seluruh variasi sudut dihitung dengan hasil sebagai berikut.

Table 4.19. Nilai $\frac{w}{l}$ untuk *crossing collision*.

Striking Vessel	α	Ra	La	Ma	$\frac{w}{l}$ (m)		
					$\beta = 30^\circ$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 60^\circ$
Mermerdelen	30°	2,875	11,5	6183	0,35	0,24	0,20
Tai Hang Shan	30°	3,75	15	17957	0,37	0,25	0,20

(lanjutan Tabel 4.19.)

Lantau Bay	30°	4,525	18,1	19509	0,37	0,25	0,20
Hanjin Liverpool	30°	3,7	14,8	48918	0,38	0,26	0,21
White Kingdom	30°	3,625	14,5	73852	0,38	0,26	0,21

Table 4.20. Nilai $\frac{w}{l}$ untuk *drifting collision* posisi sejajar dan bersilangan

Striking Vessel	α	Ra	La	Ma	$\frac{w}{l}$ (m)			
					$\beta = 30^\circ$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 53^\circ$	$\beta = 60^\circ$
Mermerdelen	30°	21,75	87	6183	0,50	0,35	0,28	0,25
Tai Hang Shan	30°	30	120	17957	0,53	0,37	0,29	0,26
Lantau Bay	30°	35,675	142,7	19509	0,529	0,36	0,29	0,25
Hanjin Liverpool	30°	44	176	48918	0,54	0,37	0,304	0,26
White Kingdom	30°	50,875	203,5	73852	0,55	0,38	0,305	0,26

Dari hasil pada Tabel 4.19. dan Tabel 4.20. dapat dilihat bahwa besarnya penetrasi yang diakibatkan dari tubrukan sangat bergantung pada nilai E_ξ . Semakin besar E_ξ maka semakin besar pula penetrasi yang ditimbulkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan pada laporan ini yang telah mengacu pada data – data dan referensi dan relevan, maka dapat ditarik kesimpulan untuk hasil studi yang telah dilaksanakan ini adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan *crossing collision* dengan metode IWRAP diperoleh hasil berturut – turut untuk sudut 30^0 , 45^0 dan 60^0 adalah 0,00393; 0,00391 dan 0,00397 Hasil perhitungan frekuensi tubrukan terhadap *shuttle vessel* dengan *software* IWRAP untuk sudut 45^0 adalah 0,0027. Perbedaan nilai ini disebabkan oleh perbedaan ketelitian perhitungan antara perhitungan manual dan pada *software*. Namun demikian kedua hasil ini menunjukkan bahwa *crossing collision* pada skenario ini memiliki risiko yang dapat diterima karena frekuensi dari tubrukan model ini kurang dari satu kejadian dalam satu tahun.
2. Dari hasil perhitungan frekuensi *drifting collision* dengan asumsi kapal melintas pada *danger part* sejumlah 365 selama satu tahun dan posisi objek sejajar dengan *danger part* untuk setiap variasi $r(x)$ 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, dan 500 m berturut – turut untuk kapal dengan panjang 87 meter adalah 0,0015; 0,0015; 0,0015; 0,0015 dan 0,0014. Serta dengan panjang kapal yang sama posisi objek perpotongan dengan *danger part* untuk variasi yang sama berturut – turut adalah 0,0015; 0,0015; 0,0015; 0,0015 dan 0,0014. Dapat disimpulkan bahwa *drifting collision* tidak berisiko saat *shuttle vessel* sedang melakukan melakukan transfer.
3. Pada dasarnya dua skenario tubrukan yang digunakan pada tulisan ini tidak berisiko terhadap *shuttle vessel* yang sedang melakukan *ship to ship transfer*. Namun demikian penulis tetap merekomendasikan posisi dimana transfer dapat dilakukan lebih aman. Transfer bahan bakar akan dilakukan di bagian barat area lego dengan memberi *bouy* sebagai tanda bahwa area tersebut adalah area khusus. Dengan demikian kapal lain yang akan memasuki area lego selama transfer berlangsung akan masuk dari selatan dan mengisi bagian timur area lego. Rekomendasi ini mempertimbangkan arah angin yang dominan bertiup di Perairan Tanjung Perak.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perhitungan dan kesimpulan telah didapatkan perkiraan frekuensi tubrukan *drifting collision* dan *crossing collision* serta konsekuensi dalam bentuk dampak dari energi yang diterima kapal jika mengalami tubrukan terdapat beberapa hal yang perlu dilakukan terkait *ship to ship transfer* di wilayah Perairan Tanjung Perak.

- a. Konsekuensi tubrukan belum dianalisis dengan sempurna. Besarnya dampak tubrukan yang dapat diterima *shuttle vessel* jika tertubruk kapal lain tidak diketahui secara menyeluruh. Disarankan untuk melakukan kajian khusus untuk membahas bagian ini agar mendapatkan hasil objektif untuk dapat digunakan dikemudian hari. Pemodelan *shuttle vessel* bisa menjadi pilihan menarik untuk memperkuat analisis permasalahan ini.
- b. Penulis merasa belum optimal dalam menggunakan seluruh *tools* yang disediakan pada *software* IWRAP. Akan sangat baik jika ada penelitian yang sama dengan tema tubrukan kapal dan menggunakan *software* ini sebagai *tools* kemudian dapat mengoptimalkan penggunaannya.

REFERENSI

- A.A.B., D., Gusti, A. P., Artana, K. B., Masroeri, A., Ariana, M., & Mulyadi, Y. (2016). STUDI PEMILIHAN METODE PLATFORM DECOMMISSIONING. *Propulsion*, 5-12.
- Agastana, N. (2016). *Conceptual Design of LNG Bunkering Shuttle in Surabaya West Access Channel (SWAC)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Artana, K. B., Pratiwi, E., Dinariyana, A., Masroeri, A., Ariana, M., & Mulyadi, Y. (2016). ESTIMASI FREKUENSI TUBRUKAN KAPAL. *Propulsion*, 13-20.
- Contact_drift.pdf*. (2017, 07 25). Diambil kembali dari http://www.iala-aism.org: http://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/images/6/65/Contact_drift.pdf
- Ellis, J., Forsman, B., Huffmeier, J., & Johansson, J. (2008). *Methodology for Assessing Risks to Ship Traffic from Offshore Wind Farms*. Sweden: SSPA Sweden AB.
- Hansen, P. F. (2007). Basic Modelling Principle Prediction of Collision Grounding Frequency. *IWRAP MK II*.
- Husky Oil Operation Limited. (2000). *ASSESSMENT OF SHIP IMPACT FREQUENCIES*. WHITE ROSE DEVELOPMENT APPLICATION.
- Jensen, F. (1996). *An Introduction to Bayesian network*. UCL Press.
- Modlen, G. (2008). *Introduction to Finite Element Analysis*. Manchester: The University Of Manchester.
- Mulyadi, Y., Kobayashi, E., Wakabayashi, N., & Pitana, T. (2014). Development of ship sinking frequency model over Subsea Pipeline for Madura Strait using AIS data. *WMU Jurnal of Maritime Affairs*.
- Pratiwi, E. (2015). *Estimasi Frekuensi Tubrukan Kapal Selama Proses Pipeline Decommissioning pada Crossing II Alur Pelayaran Barat Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saputro, G. (2015). *Kajian Teknis dan Ekonomis Sistem Bunkering LNG untuk Bahan Bakar di Kapal*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Setiawan, H. (2014). Konversi BBM ke BBG: Belajar dari pengalaman Sebelumnya. *Buletin Info Risiko Fiskal, I*.
- Shengming, Z. (1999). *The Mechanics of Ship Collision*. Denmark: Technical University of Denmark.
- Spouge, J. (1999). *A Guide To Quantitative Risk Assessment for Offshore Installation*. DNV Technica.
- Ventikosa, N. P. (t.thn.). Ship to Ship (STS) Transfer of Cargo: Latest Development Standard Operational Risk Assessment.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

LAMPIRAN

a. Perhitungan *Crossing collision*.

<i>Shuttle vessel</i> (jalur i)			<i>Sample Vessel</i> (jalur j)		
Lwl	41.5	m	Lwl	112.5	m
B	10	m	B	18	m
T	2.5	m	T	5.8	m
Vs	3.087	m/s	Vs	2.05578	m/s

$$N_g^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i Q_j}{V_i V_j} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta} \quad \text{untuk } 10^\circ < |\theta| < 170^\circ$$

$$Q_i = \text{frekuensi } shuttle \text{ vessel di jalur i.} \quad 2190$$

$$Q_j = \text{frekuensi kapal di jalur j yang melintas disekitar area ship to ship transfer.} \quad 6264$$

$$V_i = \text{kecepatan } shuttle \text{ vessel di jalur i.}$$

$$V_j = \text{kecepatan kapal di jalur j.}$$

$$D_{ij} = \text{crossing collision diameter.}$$

$$V_{ij} = \text{kecepatan relatif kedua kapal.}$$

$$\theta = \text{sudut terjadinya tubrukan.}$$

$$\sin \theta = 45^\circ = 0.71$$

$$\cos \theta = 45^\circ = 0.71$$

$$\begin{aligned} V_{ij} &= \sqrt{V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta} \\ &= \sqrt{3,087^2 + 2,055^2 + 2 \times 3,087 \times 2,055 \times \cos 45} \\ &= 2,186 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{ij} &= \frac{L_i V_j + L_j V_i}{V_{ij}} \sin \theta + B_j \left\{ 1 - \left(\sin \theta \frac{V_i}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2} + B_i \left\{ 1 - \left(\sin \theta \frac{V_j}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2} \\ D_{ij} &= \frac{41,5 \times 2,055 + 112,5 \times 3,087}{2,186} \times \sin 45 + 18 \left\{ 1 - \left(\sin 45 \times \frac{3,087}{2,186} \right)^2 \right\}^{1/2} \\ &\quad + 10 \left\{ 1 - \left(\sin 45 \times \frac{2,055}{2,186} \right)^2 \right\}^{1/2} \end{aligned}$$

$$D_{ij} = 168,7051$$

$$N_G = \frac{2190 \times 6264}{3,087 \times 2,055 \times 360 \times 3600 \times 24} \times 168,7 \times 2,186 \times \frac{1}{\sin 45}$$

$$N_G = 36,25$$

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{crossing}} &= N_G \times P_c \\ &= 36,25 \times 1,08 \times 10^{-4} \\ &= 0,003916\end{aligned}$$

Data	Sudut Tubrukan		
	300	45 ⁰	60 ⁰
<i>L shuttle vessel</i>	41.5	41.5	41.5
<i>B shuttle vessel</i>	10	10	10
<i>L sample vessel</i>	125	125	125
<i>B sample vessel</i>	20	20	20
Q_i	2190	2190	2190
Q_j	6213	6213	6213
V_i	3.087	3.087	3.087
V_j	2.05578	2.05578	2.05578
D_{ij}	166.5774417	168.7051313	159.264254
V_{ij}	2.722059431	2.18653342	1.662489681
N_G	36.38727339	36.25482093	36.80218636
Frekuensi	0.003929826	0.003915521	0.003974636

b. Perhitungan *Drifting collision* posisi sejajar.

Besarnya objek adalah gabungan antara *shuttle vessel* dengan kapal penerima bahan bakar. Dimensi objek ditetapkan 30×100 meter.

$$\begin{aligned} \text{Diagonal objek} &= 104.4030651 \text{ m} \\ r(x) &= 100 \text{ m} \\ \theta &= 17^\circ \end{aligned}$$

$$V_{drift} = \sqrt{\frac{\rho_{air}}{\rho_w} \frac{A_{Lin}}{L_i T_{in}} \frac{c_{dwind}}{c_d} v_b^2 + \frac{1}{8} \frac{\zeta_b^2 R^2}{T_{in} c_d}}$$

Dimana

:

$$\begin{aligned} V_{drift} &= \text{drifting velocity kapal i pada kondisi berbeban dengan} \\ &\quad \text{angin dan gelombang mengikuti } \textit{Beaufort class b} \\ &\quad \text{wind velocity untuk} \\ V_b &= \textit{Beaufort class b} = 6.17 \text{ m/s} \\ \rho_{air} &= \text{densitas udara} = 1.3 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_w &= \text{densitas air} = 1024 \text{ kg/m}^3 \\ &\quad \text{permukaan lateral} \\ &\quad \text{udara pada kapal i saat} \\ A_{lin} &= \text{kondisi} = 1582.68 \text{ m}^2 \\ &\quad \text{berbeban n} \\ L_i &= \text{panjang kapal i} = 87 \text{ m} \\ &\quad \text{sarat kapal i pada} \\ T_{in} &= \text{kondisi berbeban n} = 7 \text{ m} \\ &\quad \text{significant wave} \\ &\quad \text{amplitude diasumsikan} \\ \zeta_b &= \text{dihasilkan untuk} = 1.5 \text{ m} \\ &\quad \textit{Beaufort class b} \\ &\quad \text{koefisien permukaan} \\ c_{dwind} &= \text{lateral angin kapal} = 0.9 \\ &\quad \text{koefisien gesekan} \\ &\quad \text{lateral pada body yang} \\ c_d &= \text{tercelup air} = 0.8 \\ R &= \text{wave drift coefficient} = 1 \\ g &= \text{gravity constant} = 9.8 \text{ m/s}^2 \\ V_{drift} &= 0.434540762 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Posisi objek dengan *danger part* diasumsikan sejajar, sehingga jika ditarik garis tegak lurus akan berpotongan dengan sudut 90 derajat. Kondisi ini menyebabkan nilai $r_1 = r_2$, sehingga ditetapkan:

$$\begin{aligned} r(x) &= r_1 \\ &= 100 \quad \text{m} \\ \\ t(x) &= 230.128 \quad \text{s} \\ &= 0.063924 \quad \text{hour} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{EF}(t > t_s) &= 1 \\ P_{EF}(t > t_s) &= \frac{1}{1,5(t_s - 0,25) + 1} \end{aligned} \quad \begin{aligned} &\text{untuk } t < 0,25 \\ &\text{untuk } t > 0,25 \end{aligned}$$

Sehingga $P_{EF} = 1$

Karena link tegak lurus dengan objek, sehingga dititik manapun posisi kapal pada *danger part* memiliki jarak yang sama terhadap objek. Pada kondisi ini maka frekuensi kapal yang mungkin menabrak objek dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_{drift}(l_i, type, size, Bf) &= P_{drift}(l_i, type, size, \varphi_{wind}, load, Bf, t, c) \\ &\quad \times P_{\varphi_{wind}} \times P_{load} \times P_{c,t} \end{aligned}$$

dengan:

$$\begin{aligned} P_{drift}(l_i, type, size, \varphi_{wind}, load, Bf, t, c) &= 1 \\ P_{\varphi_{wind}} &= 0.18 \\ P_{load} &= 1 \\ \\ P_{c,t} &= 1 \\ \text{maka, } P_{drift}(l_i, type, size, Bf) &= 0.18 \end{aligned}$$

Waktu kapal melakukan *ship to ship transfer* diasumsikan berlangsung selama beberapa jam. Penulis mengasumsikan bahwa setidaknya akan ada satu kapal yang melintas di sebelah barat kapal dan melalui *danger part* saat *ship to ship transfer* berlangsung. Dengan demikian maka dalam satu tahun frekuensi kapal – kapal tersebut lewat pada *danger part* disebelah barat kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer* adalah 365 kali

$$\begin{aligned} N(l_i, type, size) &= 365 \text{ kapal} \end{aligned}$$

$$DM(l_i, type, size) = P_{drift}(l_i, type, size) \times N(l_i, type, size)$$

$$\begin{aligned}
 P_{ENGINE\ FAILURE} &= 65.7 \\
 &= 2,3 \times 10^{-5} \\
 N_{drift}(type, size) &= \sum_{L_I} DM(l_i, type, size) \times P_{ENGINE\ FAILURE} \\
 &= 0.001511
 \end{aligned}$$

Nama kapal	Mermerdelen	Tai Hang Shan	Lantau Bay	Hanjin Liverpool	White Kingdom
Panjang	87	120	142.7	176	203.5
Tinggi	7.1	14.3	11.2	15.6	22.32
Sarat	5.46	8.4	8.2	11	10.818
V_b	6.17	6.17	6.17	6.17	6.17
A_{lin}	1582.68	2328	2138.1	2624.032	4320.657
ζ_b	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
cd_{wind}	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
cd	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
R	1	1	1	1	1
V_{drift}	0.495	0.409	0.377	0.326	0.373

Nama kapal	V_{drift}	$t(x)$				
		$r(x) = 100m$	$r(x) = 200m$	$r(x) = 300m$	$r(x) = 400m$	$r(x) = 500m$
Mermerdelen	0.495	0.06	0.11	0.17	0.22	0.28
Tai Hang Shan	0.409	0.07	0.14	0.20	0.27	0.34
Lantau Bay	0.377	0.07	0.15	0.22	0.29	0.37
Hanjin Liverpool	0.326	0.09	0.17	0.26	0.34	0.43
White Kingdom	0.373	0.07	0.15	0.22	0.30	0.37

Nama kapal	V_{drift}	P_{EF}				
		$r(x) = 100\text{m}$	$r(x) = 200\text{m}$	$r(x) = 300\text{m}$	$r(x) = 400\text{m}$	$r(x) = 500\text{m}$
Mermerdelen	0.495	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96
Tai Hang Shan	0.409	1.00	1.00	1.00	0.97	0.88
Lantau Bay	0.377	1.00	1.00	1.00	0.94	0.85
Hanjin Liverpool	0.326	1.00	1.00	0.99	0.88	0.79
White Kingdom	0.373	1.00	1.00	1.00	0.93	0.84

Nama kapal	V_{drift}	N_{drift}				
		$r(x) = 100\text{m}$	$r(x) = 200\text{m}$	$r(x) = 300\text{m}$	$r(x) = 400\text{m}$	$r(x) = 500\text{m}$
Mermerdelen	0.495	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0014
Tai Hang Shan	0.409	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0013
Lantau Bay	0.377	0.0015	0.0015	0.0015	0.0014	0.0013
Hanjin Liverpool	0.326	0.0015	0.0015	0.0015	0.0013	0.0012
White Kingdom	0.373	0.0015	0.0015	0.0015	0.0014	0.0013

c. Perhitungan *Drifting collision* posisi berpotongan.

Besarnya objek adalah gabungan antara *shuttle vessel* dengan kapal penerima bahan bakar. Dimensi objek ditetapkan 30 x 100 meter. Contoh perhitungan menggunakan sudut tubrukan 30°.

$$\begin{aligned}
 \text{Danger part} &= 104.4030651 \text{ m} \\
 \cos 30^\circ &= 0.965925826 \\
 r_1 - r_2 &= 30 / \cos 30^\circ \\
 &= 31.05828541 \\
 \text{asumsi panjang } r_1 &= 500 \text{ m} \\
 \text{maka:} \\
 r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1
 \end{aligned}$$

Jika diasumsikan nilai x pada *danger part* divariasikan dari 10 sampai 104,4 meter dengan kelipatan 10, maka nilai $r(x)$ akan diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 1. \quad x &= 10 \text{ m} \\
 r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \\
 &= \frac{34,641}{104,4} (10) + 500 \\
 &= 502.9748442 \text{ m} \\
 2. \quad x &= 20 \text{ m} \\
 r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \\
 &= \frac{34,641}{104,4} (10) + 500 \\
 &= 505.9496884 \text{ m} \\
 3. \quad x &= 30 \text{ m} \\
 r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \\
 &= \frac{34,641}{104,4} (10) + 500 \\
 &= 508.9245326 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
4. \quad x &= 40 \text{ m} \\
r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \\
&= \frac{34,641}{104,4} (10) + 500 \\
&= 511.8993769 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
5. \quad x &= 50 \text{ m} \\
r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \\
&= \frac{34,641}{104,4} (10) + 500 \\
&= 514.8742211 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
6. \quad x &= 60 \text{ m} \\
r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \\
&= \frac{34,641}{104,4} (10) + 500 \\
&= 517.8490653 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
7. \quad x &= 70 \text{ m} \\
r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \\
&= \frac{34,641}{104,4} (10) + 500 \\
&= 520.8239095 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
8. \quad x &= 80 \text{ m} \\
r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \\
&= \frac{34,641}{104,4} (10) + 500 \\
&= 523.7987537 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 9. \quad x &= 90 \text{ m} \\
 r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \\
 &= \frac{34,641}{104,4} (10) + 500 \\
 &= 526.7735979 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 10. \quad x &= 104.4030651 \text{ m} \\
 r(x) &= \frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + r_1 \\
 &= \frac{34,641}{104,4} (10) + 500 \\
 &= 531.0582854 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$V_{drift} = \sqrt{\frac{\rho_{air}}{\rho_w} \frac{A_{Lin}}{L_i T_{in}} \frac{c_{dwind}}{c_d} v_b^2 + \frac{1}{8} \frac{\zeta_b^2 R^2}{T_{in} c_d}}$$

Dimana

:

$$\begin{aligned}
 V_{drift} &= \text{drifting velocity kapal i pada kondisi berbeban dengan angin dan gelombang mengikuti Beaufort class b} \\
 &\quad \text{wind velocity untuk} \\
 v_b &= \text{Beaufort class b} = 6.17 \text{ m/s} \\
 \rho_{air} &= \text{densitas udara} = 1.3 \text{ kg/m}^3 \\
 &\quad \text{densitas} \\
 \rho_w &= \text{air} = 1024 \text{ kg/m}^3 \\
 &\quad \text{permukaan lateral} \\
 &\quad \text{udara pada kapal i saat} \\
 A_{lin} &= \text{kondisi berbeban n} = 1582.68 \text{ m}^2 \\
 L_i &= \text{panjang kapal i} = 87 \text{ m} \\
 &\quad \text{sarat kapal i pada} \\
 T_{in} &= \text{kondisi berbeban n} = 7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ζ_b	=	<i>significant wave amplitude</i> diasumsikan dihasilkan untuk	=	2 m
cd_{wind}	=	<i>Beaufort class b</i> koefisien permukaan lateral angin kapal	=	0.9
c_d	=	koefisien gesekan lateral pada body yang tercelup air	=	0.8
R	=	<i>wave drift coefficient</i>	=	1
g	=	gravity constant	=	9.8 m/s ²
V_{drift}	=	0.476799746 m/s		

Posisi objek dengan *danger part* diasumsikan saling berpotongan, sehingga nilai r untuk setiap titik x pada *danger part* terhadap objek akan berbeda. Nilai $r(x)$ telah ditetapkan untuk titik dengan kelipatan 10 sepanjang $x_1 = 0$ meter hingga $x_2 = 104$ meter pada *danger part*. Kemudian nilai $t(x)$ akan diperoleh untuk setiap $r(x)$ yang telah ditetapkan. Contoh perhitungan akan menggunakan nilai $r(x)$ untuk $t > 0,25$.

$r(x)$	=	500	m
$t(x)$	=	1048.658276	s
		0.291293966	hour

$$P_{EF}(t > t_s) = 1 \quad \text{untuk } t < 0,25$$

$$P_{EF}(t > t_s) = \frac{1}{1,5(t_s - 0,25) + 1} \quad \text{untuk } t > 0,25$$

Sehingga

$$P_{EF}(t > t_s) = \frac{1}{1,5(t_s - 0,25) + 1}$$

$$= 0.941671947$$

Contoh perhitungan ditunjukkan untuk P_{ef} ($t > 0,25$) karena pada perhitungan untuk posisi sejajar telah dihitung dengan contoh P_{ef} ($t < 0,25$). Maka P_{drift} untuk kapal dengan muatan, tipe, ukuran dan kemungkinan kegagalan untuk melakukan lego jangkar dalam nilai tertentu dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$P_{drift}(l_i, type, size, Bf) = P_{drift}(l_i, type, size, \phi_{wind}, load, Bf, t, c) \\ \times P_{\phi_{wind}} \times P_{load} \times P_{c,t}$$

dengan:

$$P_{drift}(l_i, type, size, \phi_{wind}, load, Bf, t, c) = 1$$

$$\begin{aligned}
 P_{\phi wind} &= 0.18 \\
 P_{load} &= 1 \\
 P_{c,t} &= 1
 \end{aligned}$$

$$\text{maka, } P_{drift}(l_i, type, size, Bf) = 0.18$$

Waktu kapal melakukan *ship to ship transfer* diasumsikan berlangsung selama beberapa jam. Penulis mengasumsikan bahwa setidaknya akan ada satu kapal yang melintas di sebelah barat kapal dan melalui *danger part* saat *ship to ship transfer* berlangsung. Dengan demikian maka dalam satu tahun frekuensi kapal – kapal tersebut lewat pada *danger part* disebelah barat kapal yang sedang melakukan *ship to ship transfer* adalah 365 kali.

$$\begin{aligned}
 N(l_i, type, size) &= 365 \text{ kapal} \\
 DM(l_i, type, size) &= P_{drift}(l_i, type, size) \times N(l_i, type, size) \\
 &= 65.7 \\
 P_{ENGINE FAILURE} &= 2,3 \times 10^{-2} \\
 N_{drift}(type, size) &= \sum_{L_i} DM(l_i, type, size) \times P_{ENGINE FAILURE} \\
 &= 0.0015111
 \end{aligned}$$

	15°				
	r_2 100 m	r_2 200 m	r_2 300 m	r_2 400 m	r_2 500 m
$P_{EF}(t > ts)$	1	1	1	1	0.941671947
$P_{\phi wind}$	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
P_{load}	1	1	1	1	1
$P_{c,t}$	1	1	1	1	1
P_{drift}	0.18	0.18	0.18	0.18	0.16950095
N	365	365	365	365	365
DM	65.7	65.7	65.7	65.7	61.86784689
P_{EF}	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$
N_{drift}	0.0015111	0.0015111	0.0015111	0.0015111	0.00142296

	30°				
	r_2 100 m	r_2 200 m	r_2 300 m	r_2 400 m	r_2 500 m
$P_{EF} (t > ts)$	1	1	1	1	0.941671947
$P_{\phi wind}$	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
P_{load}	1	1	1	1	1
$P_{c,t}$	1	1	1	1	1
P_{drift}	0.18	0.18	0.18	0.18	0.16950095
N	365	365	365	365	365
DM	65.7	65.7	65.7	65.7	61.86784689
P_{EF}	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$
N_{drift}	0.0015111	0.0015111	0.0015111	0.0015111	0.00142296

	45°				
	r_2 100 m	r_2 200 m	r_2 300 m	r_2 400 m	r_2 500 m
$P_{EF} (t > ts)$	1	1	1	1	0.941671947
$P_{\phi wind}$	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
P_{load}	1	1	1	1	1
$P_{c,t}$	1	1	1	1	1
P_{drift}	0.18	0.18	0.18	0.18	0.16950095
N	365	365	365	365	365
DM	65.7	65.7	65.7	65.7	61.86784689
P_{EF}	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$
N_{drift}	0.0015111	0.0015111	0.0015111	0.0015111	0.00142296

Hasil perhitungan menunjukkan nilai N_{drift} untuk seluruh variasi sudut adalah sama. Hal ini disebabkan oleh pada perhitungan *drifting collision* sudut drifting bukan merupakan komponen dari perhitungan frekuensi *drifting collision*. Sudut drifting hanya menyatakan besarnya perbedaan jarak antara r_1 , r_2 dan $r(x)$ antara objek dengan *danger part*.

d. Konsekuensi Tubrukan

Perhitungan konsekuensi tubrukan akan menggunakan kapal MV. White Kingdom sebagai *sample* kapal yang akan menubruk *shuttle vessel*. Langkah - langkah perhitungan dilakukan sebagai berikut.

Data kapal *sample*

Nama kapal	:	White Kingdom
Panjang	:	203.5 m
Lebar	:	37.2 m
Tinggi	:	22.32 m
Sarat	:	10.818 m
Motor Penggerak	:	9120 kW
Rpm	:	123 rpm
Motor Bantu	:	2800 kVA
DWT	:	53873 Ton
Kecepatan Service	:	14.5 knot

a. Perhitungan nilai E

$$E = Lpp(B + T) + 0,85Lpp(H - T) + 0,85((L_1 \times h_1) + 0,75(L_2 \times h_2))$$

L_1 (Length of full width erections)	=	50 m
h_1 (Height of full width erections)	=	6 m
L_2 (Length of houses)	=	100 m
h_2 (Height of houses)	=	15 m
E	=	12972.47145

b. Perhitungan berat baja kapal (Wst)

$$k = 0.04$$

$$\begin{aligned} Wst &= K \times E^{1,36} \\ &= 15695.34605 \text{ ton} \end{aligned}$$

c. Perhitungan berat *outfit* dan akomodasi (Woa)

$$\begin{aligned} Woa &= 0,4 \times Lpp \times B \\ &= 3028.08 \text{ ton} \end{aligned}$$

- d. Perhitungan permesinan propulsi (W_{me})

$$\begin{aligned} W_{me} &= 12 \times (MCR/rpm)^{0,84} \\ &= 446.7418277 \text{ ton} \end{aligned}$$

- e. Berat instalasi permesinan / diesel elektrik (W_{mt})

$$\begin{aligned} W_{mt} &= 0,72 \times (MCR)^{0,78} \\ &= 227.272078 \text{ ton} \end{aligned}$$

- f. Perhitungan berat cadangan (W_{res})

$$\begin{aligned} W_{res} &= 3\% \times (W_{st} + W_{oa} + W_{me} + W_{mt}) \\ &= 581.9231986 \text{ ton} \end{aligned}$$

- g. Perhitungan LWT dan DWT

$$\begin{aligned} LWT &= W_{st} + W_{oa} + W_{me} + W_{mt} + W_{res} \\ &= 19979.36315 \text{ ton} \end{aligned}$$

Nama kapal	Mermerdelen	Tai Hang Shan	Lantau Bay	Hanjin Liverpool	White Kingdom
Panjang	87	120	142.7	176	203.5
Lebar	12.8	21.2	22.6	27.8	37.2
Tinggi	7.1	14.3	11.2	15.6	22.32
Sarat	5.46	8.4	8.2	11	10.818
Motor Penggerak	600	3900	7860	7860	9120
rpm	900	210	129	129	123
Motor Bantu	492	750	2432	2025	2800
DWT	3729	12024	12828	36,851	53873
Kecepatan Service	11.5	15	18.1	14.8	14.5
LWT	2454	5933	6681	12067	19979
Disp	6183	17957	19509	48918	73852


Contoh perhitungan menggunakan skenario *crossing collision* dimana MV. White Kingdom bergerak di alur dengan kecepatan 5 knot dan *shuttle vessel* bergerak menuju alur dengan kecepatan 6 knot. Tubrukan terjadi pada sudut (β) 30° . Data - data pendukung lain akan ditampilkan pada perhitungan berikut:

$$E_{\xi} = \frac{1}{2} \frac{1}{D_{\xi} \mu D_{\eta}} \dot{\xi}(0)^2$$

m_{ax}	=	m_{b1}	=	0.05
m_{ay}	=	m_{b2}	=	0.85
j_a	=	j_b	=	0.21
R_a	=	$L_a/4$	=	50.875

R_b	=	$L_b/4$	=	10.375
x_c, y_c	=	20,10		
x_a, y_a	=	101,75,0		
x_b, y_b	=	20,0		
α	=	30°		
β	=	30°		
v_{ax}	=	2.57		
v_{ay}	=	0.514		
v_{bx}	=	3,086		
v_{by}	=	0.514		

\mathcal{U}_{ax}^2	=					
\mathcal{U}_{ay}^2	=	2.477995				
\mathcal{U}_{ax}	=					
		$\frac{1}{\pi + 0,24} \frac{100 \sin 30^\circ - (20 - 101,75) \cos 30^\circ}{10,375^2} \frac{100 \cos 30^\circ - (20 - 101,75) \sin 30^\circ}{10,375^2}$				
\mathcal{U}_{ax}	=	29.47403				
\mathcal{U}_{ax}^2	=	$\frac{1}{\pi + 0,02} \cos^2(0) \cdot \frac{1}{\pi + 0,02} \cos^2(0) \cdot \frac{1}{\pi + 0,24} \frac{[100 \cos 30^\circ - (20 - 20) \sin 30^\circ]^2}{20,375^2}$				
\mathcal{U}_{bx}^2	=	0.548523				
\mathcal{U}_{bx}	=	$\frac{1}{\pi + 0,02} \sin(0) \cos(0) \cdot \frac{1}{\pi + 0,02} \sin(0) \cos(0) \cdot \frac{1}{\pi + 0,24}$				

	=	0.33246			
D_{ξ}	=	0.00689			
D_{η}	=	0.004555			
$\dot{\xi}(0)$	=	$2,57 \cos 30 + 0,514 \sin 30 - 3,084 \cos(0) - 0,514 \sin(0)$			
$\dot{\xi}(0)$	=	-0.8995			
E_{ξ}	=	21.48437			
R_t	=	0.9			
σ_o	=	317			
$\frac{w}{l} = \sqrt{\frac{2 \times E}{R_T \times \sigma_o}}$	=	0.388084 m			

Selanjutnya Mermerdelen akan disebut Kapal A, Tai Hang San disebut Kapal B, Lantau Bay disebut kapal C, Hanjin Liverpool disebut Kapal D dan White Kingdom disebut Kapal E. Perhitungan yang sama dilakukan untuk *sample* lain. Hasil seluruh perhitungan akan ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

a. *Impact energi crossing collision*

Striking Vessel	α	Ra	Ma	E_{ξ}		
				$\beta = 30^{\circ}$	$\beta = 45^{\circ}$	$\beta = 60^{\circ}$
Kapal A	30°	21.75	6183	18.2070028	8.906924315	5.86367624
Kapal B	30°	30	17957	20.13252545	9.616182882	6.256537533
Kapal C	30°	35.675	19509	19.62219572	9.543659354	6.232865746
Kapal D	30°	44	48918	21.1386832	9.994322954	6.465542373
Kapal E	30°	50.875	73852	21.48437009	10.10751795	6.525729296

b. *Impact energi drifting collision*

Striking Vessel	α	Ra	Ma	E_{ξ}		
				$\beta = 30^{\circ}$	$\beta = 45^{\circ}$	$\beta = 60^{\circ}$
Kapal A	30°	2.875	6183	0.356432256	0.249877984	0.20274451
Kapal B	30°	3.75	17957	0.375675818	0.259636334	0.209426261
Kapal C	30°	4.525	19509	0.370883842	0.258655416	0.2090297

Kapal D	30°	3.7	48918	0.384948895	0.264691991	0.212895555
Kapal E	30°	3.625	73852	0.38808372	0.266186712	0.213884168

c. Penetrasi pada lambung *shuttle vessel* untuk *crossing collision*.

Striking Vessel	α	Ra	$\frac{w}{L}$ (m)			
			$\beta = 30^\circ$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 53^\circ$	$\beta = 60^\circ$
Kapal A	30°	21.75	36.98535	18.12779	9.123843	11.94116
Kapal B	30°	30	41.08679	19.62486	9.654984	12.76844
Kapal C	30°	35.675	40.0453	19.47686	9.608322	12.72013
Kapal D	30°	44	43.14017	20.39658	9.922422	13.19498
Kapal E	30°	50.875	43.84565	20.62759	10.00095	13.31781

d. Penetrasi pada lambung *shuttle vessel* untuk *drifting collision*.

Striking Vessel	α	Ra	$\frac{w}{L}$ (m)			
			$\beta = 30^\circ$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 53^\circ$	$\beta = 60^\circ$
Kapal A	30°	21.75	0.509	0.356	0.289	0.252
Kapal B	30°	30	0.536	0.370	0.299	0.260
Kapal C	30°	35.675	0.529	0.369	0.298	0.259
Kapal D	30°	44	0.549	0.378	0.304	0.263
Kapal E	30°	50.875	0.554	0.380	0.305	0.264

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama I Gde Manik Sukanegara Adhita, lahir pada tanggal 16 Februari 1995 di Gianyar, Bali. Pendidikan yang ditempuh penulis, antara lain TK Catur Paramita, Gianyar pada tahun 2000 – 2001, kemudian melanjutkan jenjang pendidikan ke tingkat dasar di SD Negeri 01 Serongga pada tahun 2001 – 2007, kemudian melanjutkan jenjang pendidikan ke tingkat menengah di SMP Negeri 1 Gianyar pada tahun 2007 – 2010, selanjutnya penulis melanjutkan jenjang pendidikan ke tingkat atas di SMA Negeri 1 Gianyar pada tahun 2010 – 2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di Insitut Teknologi Sepuluh Nopember, Departemen Teknik Sistem Perkapalan mulai tahun 2013 sampai sekarang. Selama menjadi mahasiswa di ITS, penulis ikut tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan selama dua periode kepengurusan dari tahun 2014 hingga tahun 2016. Penulis juga aktif dalam organisasi kerohanian TPKH ITS selama 2 periode kepengurusan dari tahun 2014 hingga tahun 2016. Penulis juga aktif di Laboratorium RAMS (*Marine Releability, Availability, Management and Safety*) dengan menjadi member aktif Lab. Penulis mengikuti dua kali kegiatan kerja praktik. Pertama, pernulis melaksanakan kerja praktik di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya selama kurang lebih satu bulan dari tanggal 6 Juni 2015 – 6 Juli 2015. Kerja praktik kedua dilaksanakan di PT. Biro Klasifikasi Indonesia Cabang Utama Surabaya (Persero) selama satu bulan dari tanggal 6 Juni 2016 – 6 Juli 2016. Penulis dapat dihubungi melalui *email* di sukanegaramanik@gmail.com atau telepon ke nomor 0896 0637 2061.